

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA EL HORNO (GUINEA)

JERIMEN HERMANN CARDONA

GUILLERMO ANDRÉS RAMOS CORTES

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2009**

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA EL HORNO (GUINEA)

JERIMEN HERMANN CARDONA

GUILLERMO ANDRÉS RAMOS CORTES

Pasantía para optar el título de Ingeniero Mecatrónico

Director

CARLOS HÉCTOR CRUZ

Ingeniero Electrónico

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2009**

Nota de aceptación:

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos Exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar el título de Ingeniero Mecatrónico.

HECTOR CARLOS CRUZ
Director

JIMMY TOMBE
Jurados

JUAN CARLOS MENA
Jurados

Santiago de Cali 02 de febrero de 2009

AGRADECIMIENTOS

A dios que nos dio la vida y permitió culminar nuestros estudios, dándonos su guía y respaldo, mostrándonos el camino y brindándonos el entendimiento necesario.

A nuestros padres por el apoyo brindado y la oportunidad de estudio que nos ofrecieron para nuestro futuro.

A nuestros compañeros que con su ayuda y aportes de ideas logramos sacar adelante nuestros estudios.

CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO	12
RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	15
1. OBJETIVOS	16
1.1. OBJETIVOS GENERALES	16
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2. PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN	17
3. IDENTIFICACION DE LAS NECESIDADES	18
3.1 ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO	19
3.2. BENCHMARKING	22
3.3 VALORES PRELIMINARES	25
4. GENERACIÓN DE CONCEPTOS	26
4.1. CLARIFICACIÓN DEL PROBLEMA	26
4.2. DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL	27
4.3. BÚSQUEDA EXTERNA E INTERNA	29
4.4. REFINAMIENTO DE DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL	33
4.5. TABLA DE COMBINACIÓN DE CONCEPTOS	34

5. SELECCIÓN DE CONCEPTOS	36
5.1. MATRIZ DE TAMIZAJE DE CONCEPTOS	37
6. ARQUITECTURA DEL PRODUCTO	38
7. DISEÑO INDUSTRIAL	40
7.1. NECESIDADES ERGONÓMICAS	40
7.2. NECESIDADES ESTÉTICAS	40
7.3. VALORACIÓN INDUSTRIAL	41
7.4. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE DISEÑO INDUSTRIAL	42
8. DISEÑO PARA MANUFACTURA	43
8.1. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE MANUFACTURA	43
8.2. COSTO DE MONTAJE	44
8.3. CANTIDAD DE QUEMAS SUGERIDAS	44
9. DISEÑO PARA MANTENIMIENTO	45
10. DISEÑO DE SISTEMA DE CONTROL	46
10.1. DISEÑO DE CONTROLADOR	46
10.2. OBTENER FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA PARA SIMULACIÓN	48
10.3. SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL	49
10.4. DISEÑO DE HMI	59
10.5. SELECCIÓN DE ACTUADORES	60

10.6. ADECUACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS A NUESTRO CONTROLADOR	64
11. CONCLUSIONES	67
12. RECOMENDACIONES	68
BIBLIOGRAFÍA	69
ANEXOS	71

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tabla del planteamiento de la misión	17
Tabla 2. Tabla de requerimientos y necesidades del cliente	18
Tabla 3. Tabla de importancia	19
Tabla 4. Tabla de Métricas	20
Tabla 5. Tabla de relación de métricas con las necesidades	21
Tabla 6. Tabla de relación de las necesidades del cliente con productos competidores	22
Tabla 7. Relación de métricas con los competidores	23
Tabla 8. Valores ideales y marginales	24
Tabla 9. Asignaciones de valores preliminares	25
Tabla 10. Necesidades del cliente	26
Tabla 11. Matriz de tamizaje	37
Tabla 12. Reglas conjuntos difusos	47
Tabla 13. Descripción del sistema de control	50
Tabla 14. Valores marginales de la función de transferencia	54
Tabla 15. Descripción de las variables de los diagramas de flujo	55
Tabla 16. Valores Marginales HMI	59

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama optimo del alivio termico	14
Figura 2. Esquema descomposición 1.1	27
Figura 3. Esquema descomposición 1.2	28
Figura 4. Esquema descomposición 1	28
Figura 5. Esquema descomposición 2	29
Figura 6. Refinamiento de la descomposición funcional	33
Figura 7. Combinación de conceptos	34
Figura 8. Grafica de selección de conceptos 1	36
Figura 9. Grafica de selección de conceptos 2	36
Figura 10. Descomposicion Funcional	38
Figura 11. Descomposición de Interacciones	39
Figura 12. Diagrama del Sistema	39
Figura 13. Dirección del proceso de DI	41
Figura 14. Dirección del proceso de Calidad	42
Figura 15. Configuración básica de un sistema difuso con fusificador y desdifusificador	46
Figura 16. Grafica de la señal de referencia	49
Figura 17. Grafica del sistema de control	50
Figura 18. Señal de salida fuzzy	51
Figura 19. Señal de salida del integrador	51
Figura 20. Entrada Vs Salida (completa)	52

Figura 21. Entrada Vs Salida (1)	52
Figura 22. Entrada Vs Salida (2)	53
Figura 23. Diagrama de flujo para las alarmas	56
Figura 24. Diagrama de flujo Fuzzy	56
Figura 25. Diagrama de flujo del sistema de control	57
Figura 26. Diagrama de flujo para crear la referencia	58
Figura 27. Grafica Interface Usuario Maquina	60
Figura 28. Grafica de sostenimiento para dos cureñas norma ASME.	61
Figura 29. <i>Cal 3300</i>	64
Figura 30. Grafica de interface en el computador	65
Figura 31. Diagrama de flujo de la adquisición de datos	66

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Grafica de sostenimiento para dos cureñas norma ASME	72
Anexo B. Grafica de sostenimiento para dos cureñas norma ASME real	73
Anexo C Tablas de poder calorifico de combustibles	74
Anexo D Tabla de sensores de temperatura	75
Anexo E Cotización de quemadores de COLMAQUINAS	76
Anexo F Norma isa definiciones	77
Anexo G Manual HMI	80
Anexo H Flujo de fondos (Archivo adjunto en la carpeta de anexos)	
Anexo I Manual de comunicación del cal 3300 (Archivo adjunto en la carpeta de anexos)	

GLOSARIO

ALIVIO TERMICO: proceso por el cual se calienta una pieza metálica a una rata de tiempo especificada por las normas ASME, la cual dice el tiempo y las temperaturas a las que será sometida dicha pieza.

ASME: es una asociación profesional, que además ha generado un código de diseño, construcción, inspección y pruebas para equipos.

BTU: (unidad térmica británica): Unidad de energía calorífica del sistema estadounidense.

HMI: (Interfaz Hombre Maquina): Interfaz que se diseña para interactuar en algún proceso con los operarios o usuarios que intervienen en algún sistema industrial.

HORNO INDUSTRIAL: horno de gran capacidad calorífica, generalmente usados para los tratamientos térmicos que se le realizan a diferentes tipos de materiales, estos pueden ser a combustible “quemadores” a gas o ACPM, o también pueden ser eléctricos “110 V o 220 V”.

PLC: (controlador lógico programable), es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales.

QUEMADORES: dispositivo para quemar combustible líquido o gaseoso, el cual genera calor mediante una llama.

TEMPERATURA: es una magnitud escalar dada por una función creciente del grado de agitación de las partículas de los materiales. A mayor agitación, mayor temperatura.

RESUMEN

La función básica de los hornos de alivio térmico o de tensiones es calentar una pieza de una manera específica para cambiar y ajustar las propiedades mecánicas del material. La empresa TISSOT LTDA tiene 56 años, dicha empresa posee un horno para alivio térmico o de tensiones que tiene aproximadamente 30 años en uso, en los cuales el horno se ha deteriorado, haciendo que el costo de su mantenimiento y realización de los alivios a las piezas sea demasiado alto.

La empresa no ha invertido en el mejoramiento del horno por consiguiente este ha desmejorado su eficiencia, cuando se hace una pieza, la pieza tiene que pasar por varios procesos, pero usualmente el proceso más caro es el del alivio térmico.

El horno (GUINEA) tiene unas dimensiones de 4.05 metros de ancho por 12.85 metros de largo y 5.51 metros de altura lo que lo convierte en uno de los hornos para alivio térmico más grande de Latinoamérica por consiguiente un horno que consume una gran cantidad de combustible.

Uno de los mayores inconvenientes de la empresa es que, sólo cuenta con un operario calificado en su manejo, el cual no pertenece a la empresa, por lo que dependen del tiempo que disponga el operario para aplicarle las respectivas adaptaciones al sistema y el alivio térmico que no es muy exacto, pues todo es hecho empíricamente, sin un controlador que maneje el sistema. Esto es posible porque el trabajador posee muchos años de práctica y ha logrado deducir como es el funcionamiento del horno, aunque las condiciones en las que se trabaja son extremadamente precarias pues el mecanismo de encendido del horno es por medio de una mecha con una llama, la cual es acercada a los quemadores para encenderlos, exponiendo al operario a quemarse, luego de esto el operario maneja unas termocuplas ya acondicionadas las cuales nos dan los valores de la temperatura sobre la pieza, esto es un error ya que a la empresa le interesa tomar el calor de la pieza pero por el mecanismo que el operario usa, solo se puede obtener el calor de la superficie de la pieza.

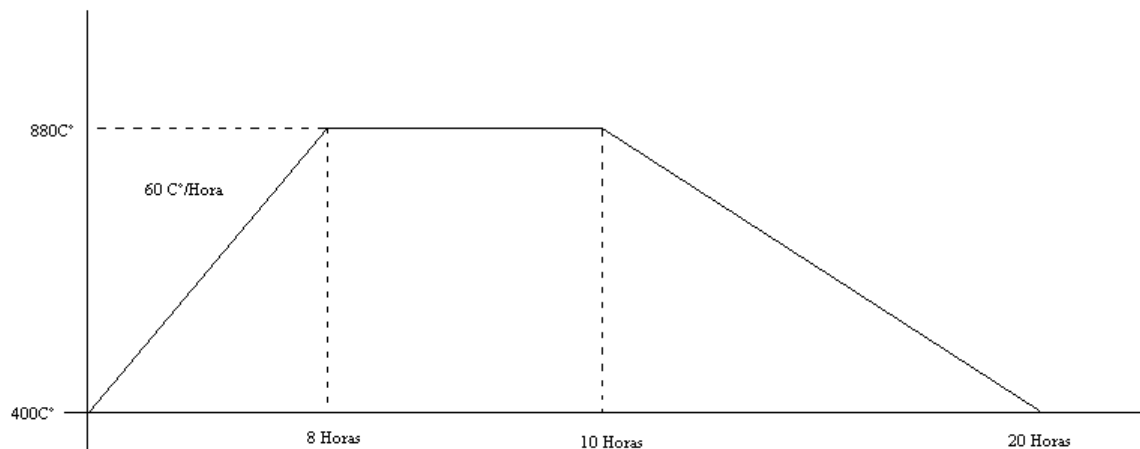
El operario lleva el horno a una temperatura de 400 °C de inicio para tomar datos y cuando la temperatura llega a este punto baja manualmente la potencia de calor de los quemadores, luego el operador mira la velocidad con la que baja la temperatura y si es muy rápido se deduce que es una temperatura aparente, si no baja de inmediato se da por entendido que la pieza si posee esa temperatura.

Esto lo hace el operario para ver la inercia del calor sobre el horno, debido a que la pieza puede tener una temperatura aparente la cual no es la real de la pieza y de ser así los datos que se obtendrán serán erróneos y las graficas que se muestren a la empresa no serán las reales sobre las piezas.

Luego de comprobar la temperatura inercial de la pieza el operador prosigue a usar un computador que posee un programa al que se adaptan las termocupas que entregan la temperatura en el horno y se realizan una graficas de cada una de los datos entregados por las 6 termocupas que usualmente se introducen.

Notemos que la pendiente a la que debería de aumentar el calor es de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ por cada hora pero al realizar un control manual sobre el proceso la pendiente varia.

Figura 1 Diagrama optimo del alivio termico



En la Figura 1 se muestra la curva que debe describir la temperatura de la pieza, para realizar un adecuado alivio termico, la cual también es la salida deseada del sistema. Al no realizar un control adecuado, la grafica varia de pendiente haciendo que la calidad final de la pieza no sea exactamente la deseada por el cliente.

INTRODUCCION

Muchas de las compañías de metalurgia y de metalmecánica se basan en varios tipos de procesos. En Colombia encontramos que los tres más comunes son: el mecanizado, La fundición y la soldadura.

La empresa TISSOT LTDA. es una empresa con una trayectoria de más de 50 años, se encuentra en la calle 10 No. 34 – 99 en Acopi Jumbo. Se desempeña en ingeniería, mantenimiento y montajes metalmecánicos. Posicionándose por muchos años como una empresa líder en su campo y de mucho prestigio a nivel nacional y de Latinoamérica.

Su horno de tratamientos térmicos y de alivio de tensiones GUINEA, es un horno que lleva casi 30 años en funcionamiento continuo, en los cuales se ha deteriorado y quedado obsoleto hasta el punto de requerir un estudio orientado a mejorar su desempeño, actualización y automatización, con lo que la empresa podrá mejorar la calidad de sus procesos de alivio térmico, de construcción y mantenimiento de piezas que realiza con el horno para sus clientes de Colombia o del exterior.

La empresa TISSOT LTDA. ha decidido hacer una inversión para el mejoramiento y actualización de dicho horno, por lo que se pretende hacer un diseño para su automatización con el objetivo de aumentar su eficiencia y desempeño. Para lograr estos objetivos se aplicará el método de ingeniería concurrente, que nos permitirá identificar sus deficiencias y limitaciones. Corrigiéndolas, se espera obtener una mayor fiabilidad y eficiencia en este proceso de alivio para disminuir costos de manufactura por pieza, pues por no estar bien calibrado, el horno gasta mucho combustible haciendo que la pieza a aliviar sea mucho más cara.

También se espera que pueda ser operado por diferentes personas con un entrenamiento corto y NO especializado, y así corregir la dependencia de un solo operador, pues uno de los mayores inconvenientes es que, el horno solo lo manipula una persona que no es de la empresa, y esto hace que las entregas dependan solo de que la persona tenga tiempo de ir y hacer el alivio térmico de las partes requeridas.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un sistema de control para el horno (guinea)

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificación del problema
- Estudio de la planta
- Analizar las posibles soluciones existentes para el problema
- Diseñar la estrategia de control
- Simular el sistema con el controlador y ver su comportamiento
- Obtener resultados y sacar conclusiones sobre este
- Seleccionar actuadores
- Adecuar el sistema de adquisición de datos actual con el software que haría el control.

2. PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN

En este punto se listan las funciones y requisitos que rigen todo el proceso de diseño.

Tabla 1. Tabla del planteamiento de la misión

Planteamiento de la misión	
Descripción del producto	* Dispositivo autónomo capaz de realizar alivios térmicos a diferentes piezas.
Principales objetivos de marketing	* Liderar el mercado en construcción de piezas metálicas en América latina. * aumentar las ganancias sobre el costo de la pieza en un 30%. * Presentación del diseño para finales del segundo semestre de 2008.
Mercado primario	* Empresas con hornos de alivio térmico del valle del cauca.
Mercado secundario	* Empresas con montajes metalmecánicos grandes. * Empresas del sector industrial.
Premisas y restricciones	* Flexible a diferentes piezas. * Fácil mantenimiento y reparación. * Dispositivo automático. * fácil manejo para el usuario * Bajo consumo de combustible.
Partes implicadas	* Usuarios. * Operador de la planta. * Personal de producción. * Departamento legal.

3. IDENTIFICACION DE LAS NECESIDADES

Los clientes manifiestan sus necesidades como sugerencias o comentarios, que deben ser interpretadas con el fin de encontrar criterios que contribuyan al desarrollo del producto esperado.

Tabla 2. Tabla de requerimientos y necesidades del cliente

Planteamiento del cliente	Planteamiento de la necesidad
<i>"Que el sistema cumpla lo deseado por mi"</i>	El sistema sea controlado
<i>"Que el sistema sea manejado por un computador"</i>	HMI sobre un computador
<i>"Que sea mas económico el alivio de las piezas"</i>	Ahorro de combustible en el proceso
<i>"Que pueda ser usado por cualquier persona "</i>	Sistema con manual fácil de entender
<i>"Que sea fácil de manejar"</i>	Fácil uso
<i>"Ojala pueda encontrar repuestos fácilmente"</i>	Fácil adquisición de repuestos
<i>"Que lo pueda reparar fácilmente"</i>	Fácil mantenimiento y reparación
<i>"Que el sistema me permita colocarle los valores de sobre calentamiento para las alarmas"</i>	HMI configurable con las alarmas
<i>"Que el sistema sea dual en gas y ACMP"</i>	Sistema de control para ambos combustibles
<i>"Que el sistema sea fácil de montar y desmontar"</i>	Conexión fácil
<i>"Que sea fácil de interactuar con el"</i>	HMI amigable
<i>"Que dé aviso de alarmas"</i>	Avisos de sobrecalentamientos o fugas
<i>"Que garantice la seguridad de las personas"</i>	Confiable
<i>"Que cumpla con normas de seguridad"</i>	Aplicarle normas ISA
<i>"Quiero saber la cantidad de combustible gastado y restante"</i>	Medir la cantidad de combustible
<i>"Que se mantenga el sistema de datos actual "</i>	Adecuar el sistema de control con el sistema de adquisición de datos actual
<i>"Que la realización del proyecto sea económica "</i>	Sistema económico al implementar
<i>"Que no consuma mucha corriente "</i>	Bajo consumo de energía
<i>"Que el sistema cumpla con los tiempo establecidos por la ASME"</i>	Que siga la grafica de entrada al sistema

Tabla 3. Tabla de importancia

No.		Necesidad	Importancia
1	Horno	El sistema sea controlado	5
2	Horno	HMI desde sobre un computador	4
3	Horno	Ahorro de combustible en el proceso	5
4	Horno	Sistema con manual fácil de entender	3
5	Horno	Fácil uso	4
6	Horno	Fácil adquisición de repuestos	2
7	Horno	Fácil mantenimiento y reparación	2
8	Horno	HMI configurable con las alarmas	3
9	Horno	Sistema de control para ambos combustibles	4
10	Horno	Conexión fácil	3
11	Horno	HMI amigable	3
12	Horno	Avisos de sobrecalentamientos o fugas	4
13	Horno	Confiable	4
14	Horno	Aplicarle normas ISA	4
15	Horno	Medir la cantidad de combustible	1
16	Horno	Adecuar el sistema de control con el sistema de adquisición de datos actual	3
17	Horno	Sistema económico al implementar	3
18	Horno	Bajo consumo de energía	1
19	Horno	Que siga la grafica de entrada al sistema	4

3.1 ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

En las especificaciones del producto se tiene en cuenta los parámetros que abarcan todo el proyecto, desde el software utilizado, las interfases y los componentes del dispositivo, para así tener una visión mas amplia y clara de las dimensiones tecnológicas que tendrá el producto y lo que nos permitirá buscar un espacio en el mercado en el que se encuentren sistemas similares que nos sirvan como marco de comparación.

Tabla 4. Tabla de Métricas

No	No. Necesidad	Métricas	Importancia	Unidades
1	1	Alimentación de los sensores	5	V
2	1,9,12,13,15,16,19	Precisión en funciones	5	%
3	2,4,6,7,17,18	Costo de rediseño	3	\$
4	7,10	Dimensiones	3	M ³
5	3,9,12,15,17,18,19	Consumo	5	Gal/h
6	2,8,16	Comunicación	3	Bit/seg
7	4,5,7,8,11	Fácil manejo	3	Subjetivo
8	3,15,19	Potencia de quemadores	5	BTU
9	4,6,7,10,12	Mantenimiento	3	Subjetivo
10	4,6,7	Disponibilidad de repuestos en el mercado	3	Subjetivo
11	18	Amperaje de consumo	1	A
12	14	Normatividad	3	Subjetivo
13	9	Combustible	3	Gal, m3
14	1,19	Temperatura	5	°C
15	1,19	Tiempo	5	Seg

Tabla 5. Tabla de relación de métricas con las necesidades

		Importancia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Alimentación de los sensores	Precisión en función	Costo de rediseño	Dimensiones	Consumo	Comunicación	Fácil manejo	Potencia de quemadores	Mantenimiento	Disponibilidad de repuestos en el mercado	Amperaje de consumo	Normatividad	Combustible	Temperatura	Tiempo	
		1.0	0.5	0.0													
1	El sistema sea controlado	5	□	○												○	○
2	HMI desde sobre un computador	4			△		□									○	
3	Ahorro de combustible en el proceso	5				○			○								
4	Sistema con manual fácil de entender	3			△			□		□	□						
5	Fácil uso	4						□									
6	Fácil adquisición de repuestos	2			△					△	△						
7	Fácil mantenimiento y reparación	2			△	△		△		△	△						
8	HMI configurable con las alarmas	3					□	□									
9	Sistema de control para ambos combustibles	4		□			□							□			
10	Conexión fácil	3				□				□							
11	HMI amigable	3						□									
12	Avisos de sobrecalentamientos o fugas	4		□			□			□							
13	Confiable	4		□													
14	Aplicarle normas ISA	4											□				
15	Medir la cantidad de combustible	1		△			△		△								
16	Adecuar el sistema de control con el sistema de adquisición de datos actual	3		□				□									
17	Sistema económico al implementar	3			□		□										
18	Bajo consumo de energía	1			△		△					△					
19	Que siga la grafica de entrada al sistema	4		□			□		□						□	□	

3.2 BENCHMARKIN

Tabla 6. Relación de las necesidades con productos competidores

		Importancia	Tratamiento térmico Despatch Industries
1	El sistema sea controlado	5	5
2	HMI desde sobre un computador	3	5
3	Ahorro de combustible en el proceso	3	4
4	Sistema con manual fácil de entender	5	4
5	Fácil uso	4	4
6	Fácil adquisición de repuestos	2	2
7	Fácil mantenimiento y reparación	4	2
8	HMI configurable con las alarmas	2	4
9	Sistema de control para ambos combustibles	4	2
10	Conexión fácil	5	3
11	HMI amigable	3	4
12	Avisos de sobrecalentamientos o fugas	5	4
13	Confiable	5	4
14	Aplicarle normas ISA	4	5
15	Medir la cantidad de combustible	3	2
16	Adecuar el sistema de control con el sistema de adquisición de datos actual	4	1
17	Sistema económico al implementar	5	1
18	Bajo consumo de energía	1	3
19	Que siga la grafica de entrada al sistema	3	5

Tabla 7. Relación de métricas con los competidores

MÉTRICAS	NECESIDAD RELACIONADA	IMPORTANCIA	TRATAMIENTO TÉRMICO DESPATCH INDUSTRIES
Alimentación de los sensores	1	5	4
Precisión en funciones	1,9,12,13,15,16,19	5	5
Costo de rediseño	2,4,6,7,17,18	3	1
Dimensiones	7,10	3	3
Consumo	3,9,12,15,17,18,19	5	4
Comunicación	2,8,16	3	4
Fácil manejo	4,5,7,8,11	3	4
Potencia de quemadores	3,15,19	5	4
Mantenimiento	4,6,7,10,12	3	3
Disponibilidad de repuestos en el mercado	4,6,7	3	2
Amperaje de consumo	18	1	3
Normatividad	14	3	5
Combustible	9	3	2
Temperatura	1,19	5	5
Tiempo	1,19	5	5

Tabla 8. Valores ideales y marginales

Métricas	Unidades	Valor Marginales	Valor ideal
Alimentación de los sensores	V	0-110	0-24
Precisión en funciones	%	<100%	<95%
Costo de rediseño	\$	***	***
Dimensiones	M ³	= 286 m ³	= 286 m ³
Consumo	Gal/h	< 8.33 Gal/h	< 6 Gal/h
Comunicación	Bit/seg	< 9600	< 9600
Fácil manejo	Subjetivo	fácil	fácil
Potencia de quemadores	BTU	< 1'200.000	< 1'000.000
Mantenimiento	Subjetivo	bueno	bueno
Disponibilidad de repuestos en el mercado	Subjetivo	alta	alta
Amperaje de consumo	A	< 5 A	< 1 A
Normatividad	Subjetivo	***	***
Combustible	Gal, m3	***	***
Temperatura	°C	24 °C-1000C°	24 °C-1000C°
Tiempo	Seg	8 horas	8 horas

3.3 VALORES PRELIMINARES

Tabla. 9 Asignaciones de valores preliminares

Alimentación de los sensores	V	24V
Precisión en funciones	%	5
Costo de rediseño	\$	***
Dimensiones	M ³	286
Consumo por quemador	Gal/h	8.33
Comunicación	Bit/seg	9600
Fácil manejo	Subjetivo	fácil
Potencia de quemadores	BTU	1'000.000
Mantenimiento	Subjetivo	***
Disponibilidad de repuestos en el mercado	Subjetivo	alta
Amperaje de consumo	A	2
Normatividad	Subjetivo	***
Combustible	Gal, m3	***
Temperatura	°C	24°C-1000C°
Tiempo del ciclo	hora	8

4. GENERACION DE CONCEPTOS

4.1 CLARIFICACIÓN DEL PROBLEMA

○ **Descripción del problema** Sistema para proporcionar alivio térmico a piezas metálicas según las normas ASME [2], ver ANEXO [D].

○ **Necesidades**

Tabla 10 Necesidades del cliente

El sistema sea controlado
HMI desde sobre un computador
Ahorro de combustible en el proceso
Sistema con manual fácil de entender
Fácil uso
Fácil adquisición de repuestos
Fácil mantenimiento y reparación
HMI configurable con las alarmas
Sistema de control para ambos combustibles
Conexión fácil
HMI amigable
Avisos de sobrecalentamientos o fugas
Confiable
Aplicarle normas ISA ver ANEXO[G]
Medir la cantidad de combustible
Adecuar el sistema de control con el sistema de adquisición de datos actual
Sistema económico al implementar
Bajo consumo de energía
Que siga la grafica de entrada al sistema

- **Especificaciones**

- Horno de ACPM y GAS (DUAL)
- Promedio de uso del horno 2 veces al mes
- BTU de 1'000.000 BTU
- Máximo voltaje de alimentación de 220V
- Máximo voltaje de salida PLC 24V
- Rango de Temperatura 24 - 1000 °C [2]
- Consumo de ACPM por quemador 8.33 Gal/h

4.2 DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL

Figura 2. Esquema descomposición 1.1

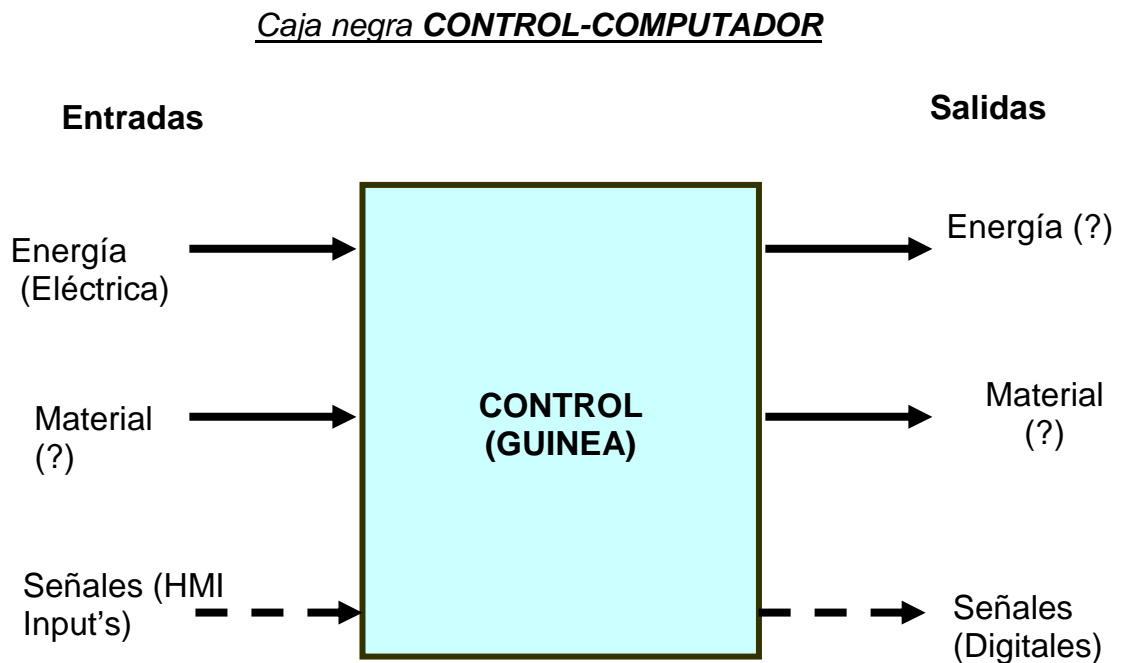


Figura 3. Esquema descomposición 1.2

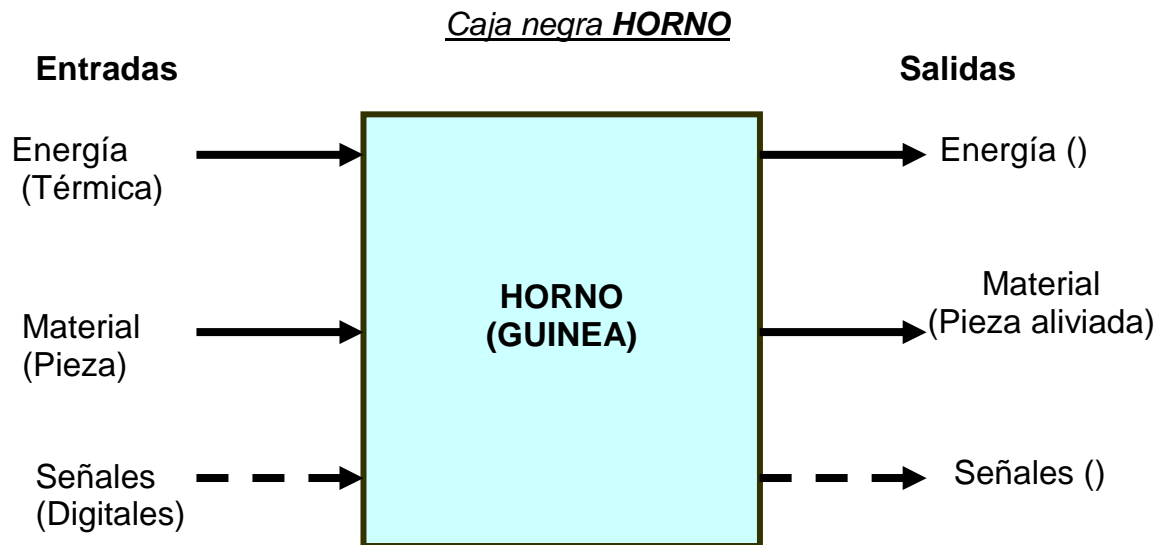


Figura 4. Esquema descomposición 1 (control-computador)

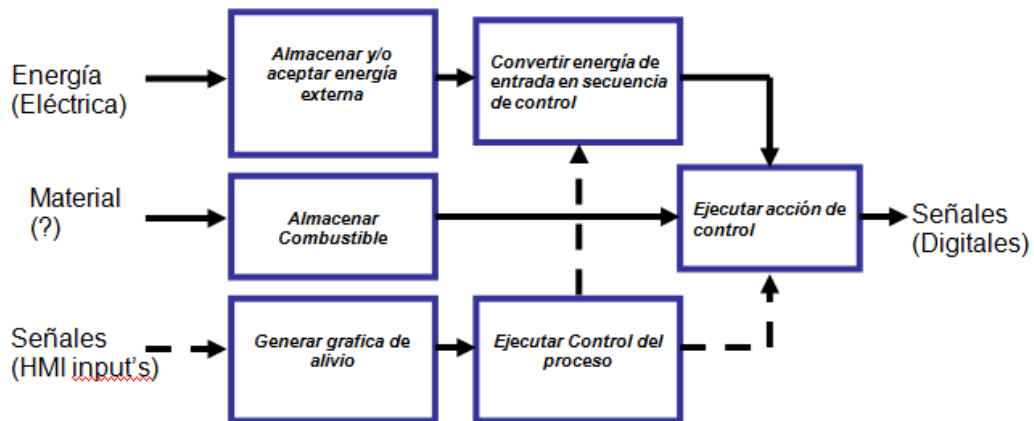
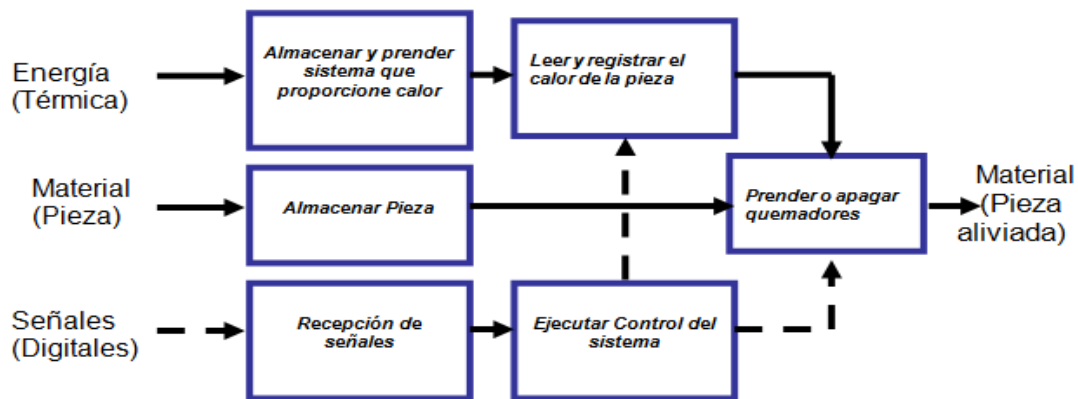


Figura 5. Esquema descomposición 2 (Horno)



4.3 BÚSQUEDA EXTERNA E INTERNA

- **Búsqueda externa** Entrevista con usuarios avanzados

- **Usualmente que tipo de controladores se usan para el control de hornos y más específicamente para el control de los quemadores.** Existen varios tipos de controladores pero los más comunes en el país son los controladores tipo PID, este tipo de controladores han funcionado bien para los diferentes tipos de instalaciones de quemadores que hemos hecho.

- **Cuál es la marca o marcas que ustedes en colmaquinas manejan usualmente.** Nosotros usamos los honeywell porque nos da el respaldo que necesitamos, es una empresa de larga trayectoria y respetada no solo por nuestros clientes sino también por sus competidores

- **Que tipos de quemadores son los mejores, los más comunes y los más económicos.** Hay todo tipo de quemadores y todos dependen de la utilidad y del tipo de combustible que estén necesitando, por ejemplo: gas, diesel y existen otros para mixturas de ciertos aceites, como una colada. También algunos son duales y pueden trabajar con dos tipos de combustibles (diesel y gas). Hay quemadores modulados, como también hay quemadores on/off. También existen unos quemadores que tienen algunos sensores que sirven como monitores de llama, que son fotoceldas que mantienen informado de que no se ha apagado tu quemador y el PLC -si es tu caso- en donde hayas puesto tu programación tiene que poder corregir esto, porque si hay una acumulación de combustible esto puede ser peligroso porque puede explotar.

○ **Cuáles son los quemadores modulados** Son los quemadores que tienen un actuador como dice el nombre para modular este modulador se encarga de mover las palancas o las llaves dependiendo del quemador y su combustible, estos moduladores también pueden ser agregados (aunque no es muy común) a un quemador que no esté modulado.

○ **Qué tipo de normatividad siguen como por ejemplo ISA o por NEMA** Las normas que nosotros usamos o por las que nos regimos son NFPA o por las IRI aunque las IRI no son tan estrictas como las NFPA que piden que en algunos casos haya que poner el doble de válvulas y que algunos tubos deban de tener trampas o válvulas de un solo sentido.

• **Búsqueda interna** Nuestra función es diseñar el sistema de control para el horno, que permita hacer el proceso de alivio térmico basado en las normas ASME [2], pero principalmente que sea normalizado y pueda ser manipulado por operarios con un entrenamiento mínimo.

Brainstorming grupal: El grupo a partir de la experiencia de los operarios y de expertos en temas de hornos ha generado las siguientes propuestas:

- Combustible a usar, ver anexo D
- Sensores de temperatura, ver anexo E
- Mecanismo de distribución del combustible
- Técnicas de control inteligente
- Diseño seguro
- Implementación de procesadores
- Mecanismo para calentar (actuadores)
- Detección de alarmas

Finalmente, después de realizar la búsqueda externa e interna, se generaron los siguientes conceptos.

Combustible

- ACPM
- GAS

Material de las tuberías de combustible

- hierro
- cobre

Sensores de temperatura

- Termocuplas
- Pirómetros [9]
- RTD

Distribución combustible

- Por inyección

Sistema de control inteligente

- PID-neuronal
- Fuzzy
- Red neuronal
- Control de espacio estado
- Control on off

Seguridad

- Normas ISA. [3] ver anexo G

- Normas NTC
- Normas NFPA [7]
- Normas IRIS [8]

Procesamiento

- Microprocesador
- DSP
- PLD
- PC
- PLC

Actuadores

- Quemadores de combustible
- Pistones
- Motores
- Neumáticos
- Hidráulicos

Alarmas

- Indicación visual
- Indicación sonora
- Indicación por la red

Almacenar Combustible

- Tanque

➤ Cilindro

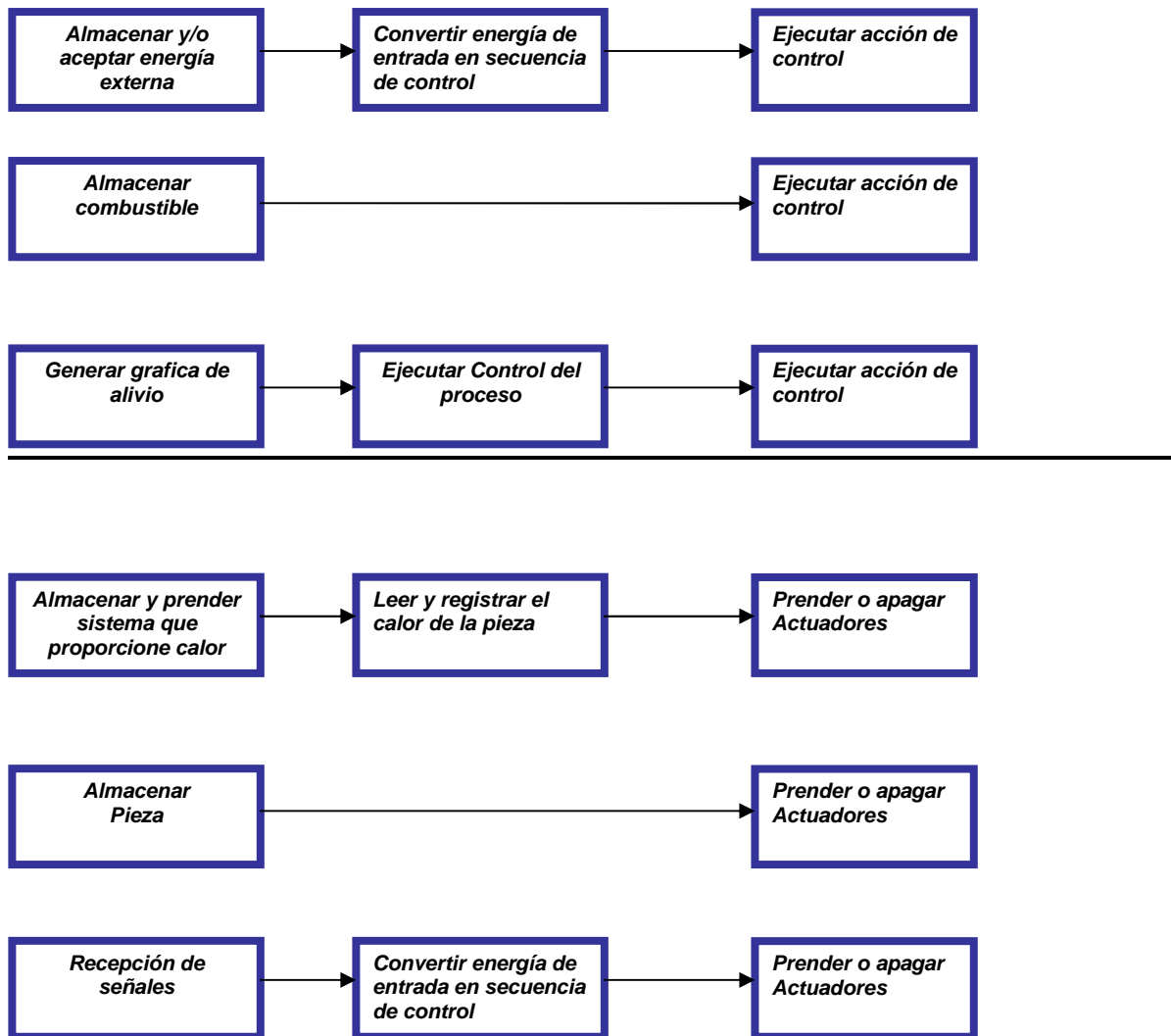
Generación de grafica

➤ HMI

➤ PC

4.4 REFINAMIENTO DE LA DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL

Figura 6. Refinamiento de la descomposición funcional



4.5 TABLA DE COMBINACIÓN DE CONCEPTOS

Figura 7. Combinación de conceptos

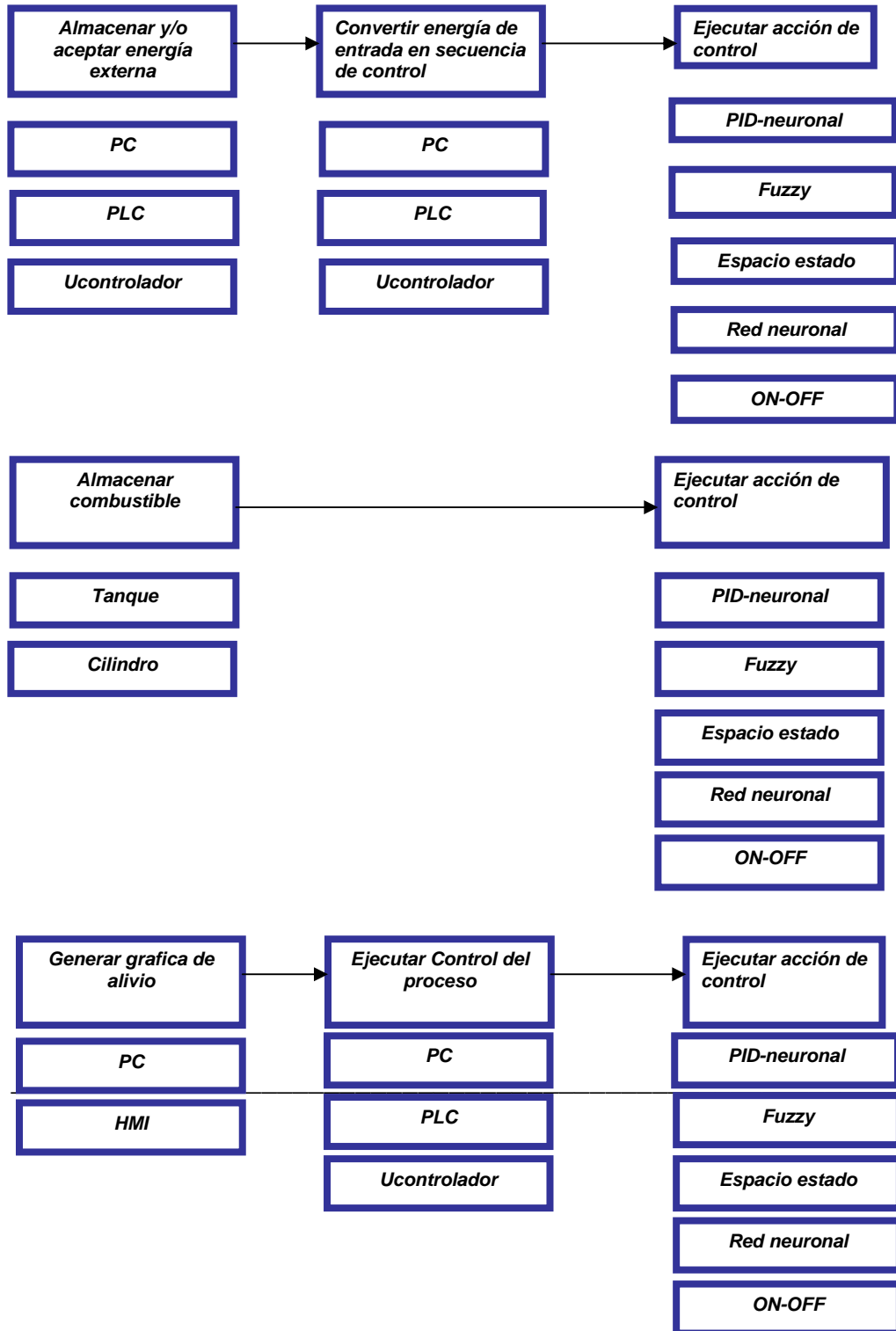
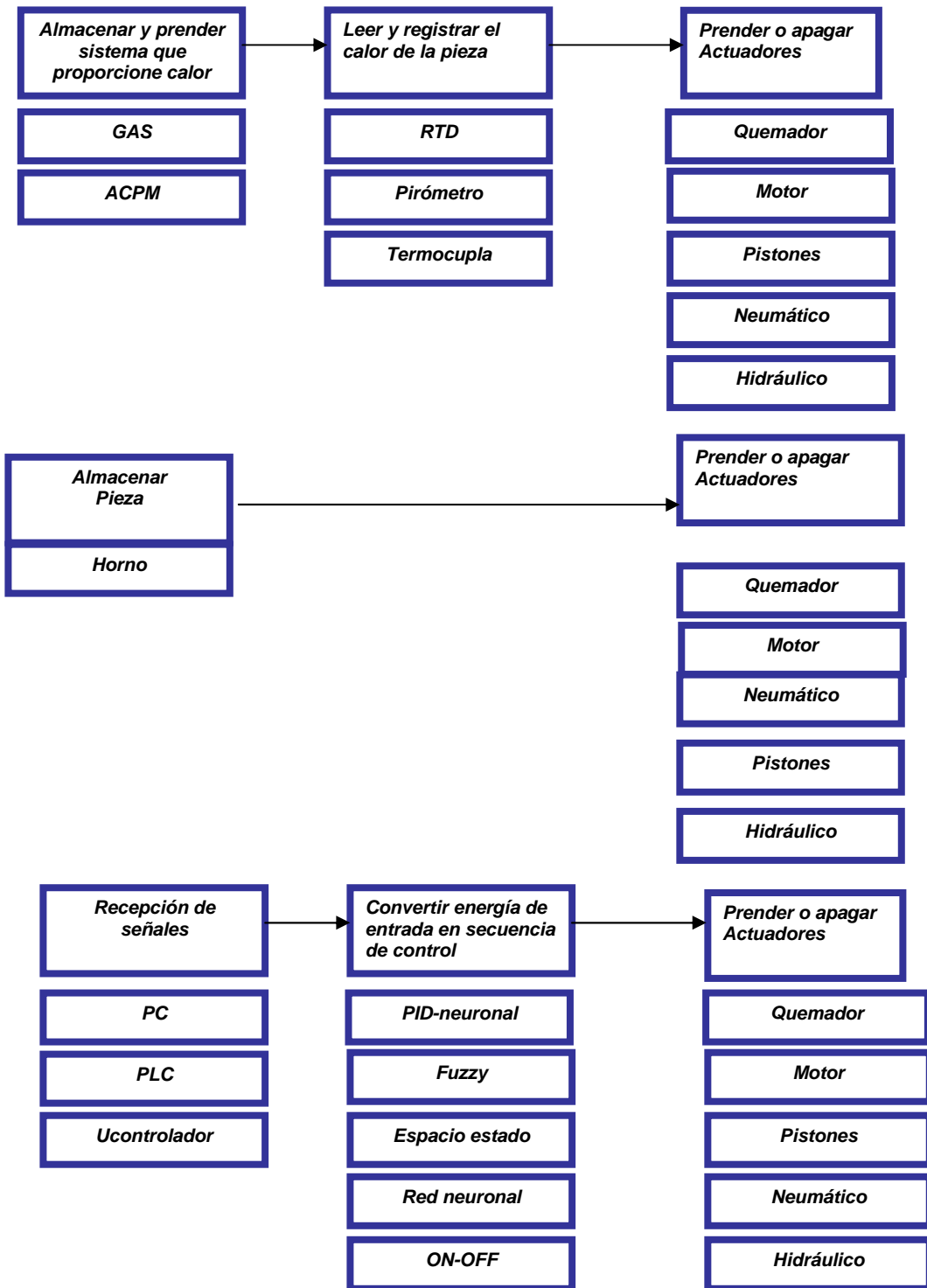


Figura 7. (Continuación)



5 SELECCIÓN DE CONCEPTOS

Análisis de viabilidad, disponibilidad, pasa no pasa.

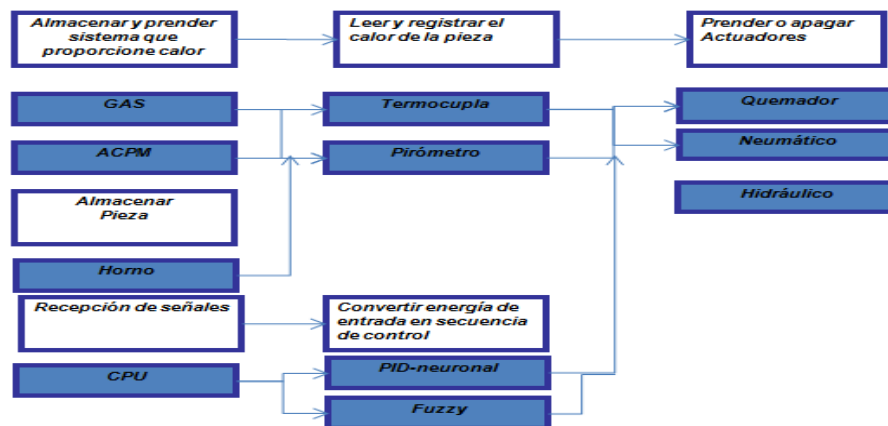
Realizando diferentes análisis de viabilidad, disponibilidad de tecnología, y pasa no pasa se decidió seleccionar solo 2 conceptos para ingresar a la matriz de tamizaje. Los conceptos fueron escogidos de acuerdo a la necesidad expresadas por los clientes.

Figura 8. Grafica de selección de conceptos 1



- Concepto A: PLC – Tanque - CPU – PLC – PLC – FUZZY.
- Concepto B: Ucontrolador – Tanque – CPU- Ucontrolador– PID-neuronal

Figura 9. Grafica de selección de conceptos 2



- Concepto A: Dual (gas-ACPM) – Horno - CPU –Pirómetro (termocupla) – fuzzy- Quemador.
- Concepto B: Dual (gas-ACPM) – Horno - CPU –termocupla PID-neuronal- Quemador

5.1 MATRIZ DE TAMIZAJE DE CONCEPTOS

Tabla 11. Matriz de tamizaje

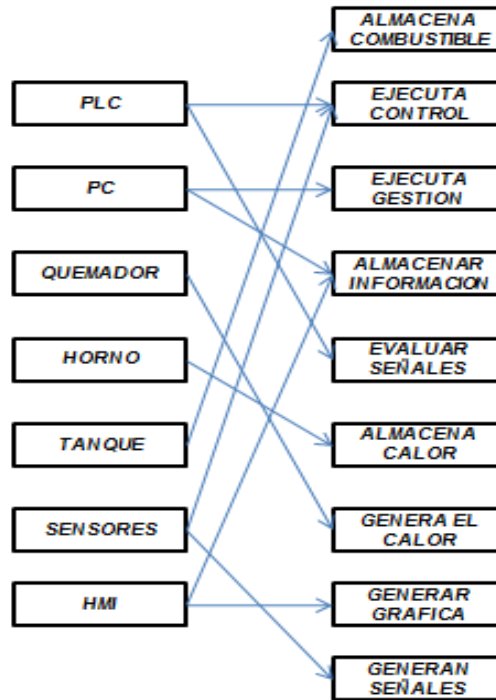
CRITERIOS DE SELECCIÓN	VARIANTES DE CONCEPTO	
	A	B
FACIL MANEJO	+	-
FACIL MANTENIMIENTO	+	+
ECONOMICO	-	+
NORMALIZADO	+	-
AHORRO DE COMBUSTIBLE	+	+
FACIL ADQUICISION DE REPUESTOS	+	-
COMBUSTIBLE DUAL	+	+
MONTAJE FACIL	+	+
Positivos	5	3
Iguales	4	4
Negativos	1	3
Total	4	0
Orden	1	2
Continuar	si	no

De acuerdo a la matriz anterior, el concepto A es viable para ser ejecutado.

6. ARQUITECTURA DE PRODUCTOS

A continuación se mostrará el arreglo de elementos funcionales en conjuntos físicos, que construirán los elementos básicos del producto o de la familia de productos y presentara el análisis de sus iteraciones. Ver figura (6)

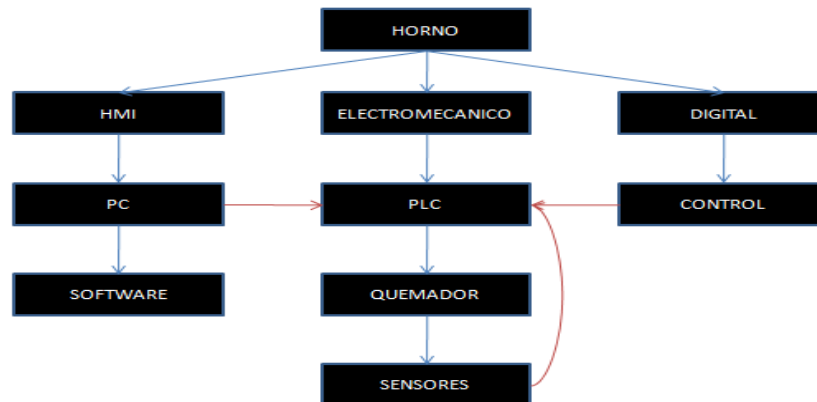
Figura 10 Descompocicion Funcional



Según el arreglo anterior podemos ver que el sistema de control para el horno tiene una arquitectura integral, con dos subsistemas con arquitectura modular, que son la alimentación y circuitos electrónicos.

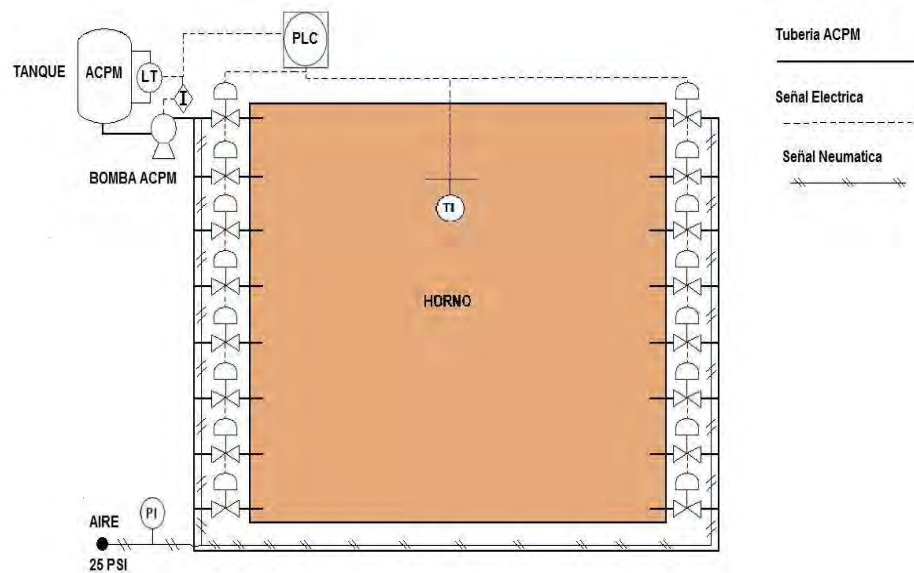
- Descomposición e interacciones

Figura 11. Descomposición de Interacciones



Esquema del producto norma **S51**

Figura 12. Diagrama del Sistema



7. DISEÑO INDUSTRIAL

7.1 NECESIDADES ERGONOMICAS

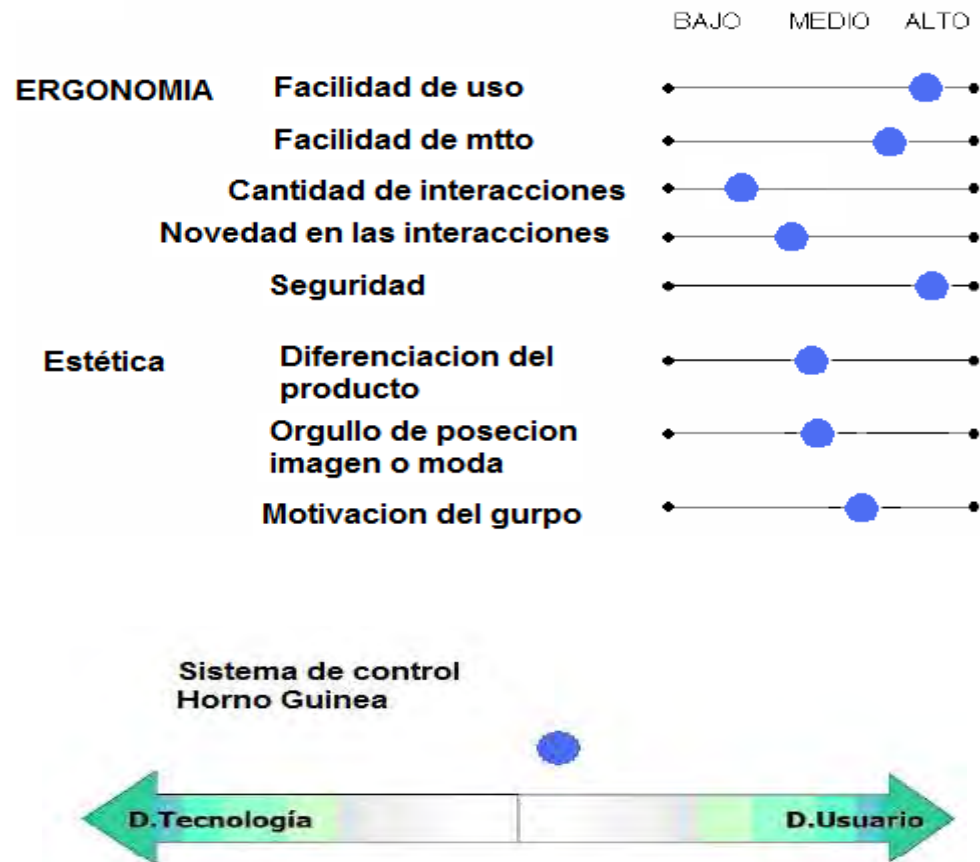
- Es necesario cumplir con la norma de seguridad ISA-S84.01 P3.1.53, sistema compuesto de sensores, solucionadores lógicos, y elementos de controles finales para llevar el proceso a un estado seguro, cuando determinadas condiciones han sido violadas. Otros términos comúnmente usados incluyen el Procedimiento/Sistema de Parada de Emergencia (ESP), Sistema de Apagado de Seguridad (SSD), Sistema de Interlock de Seguridad y Sistema Supervisor de Seguridad de la Llama (FSSS).
- El sistema debe ser de fácil manejo, cumplir con los estándares de automatización.
- El sistema de control debe de detectar si algún quemador esta con señal de encendido y este no esta con la llama (seguridad y ahorro)
- El sistema debe de ser de fácil montaje y desmontajes para los operarios

7.2 NECESIDADES ESTÉTICAS

- La interfaz con el usuario debe ser entendible y cumplir con los estándares de una HMI.
- La interfaz no deberá contener muchos colores fuertes.
- El PLC debe tener su caja de protección.
- El sistema debe de ser medianamente estético para que el propietario sienta orgullo de pertenencia.

7.3 VALORACIÓN DEL DISEÑO INDUSTRIAL

Figura 13 Dirección del proceso de DI



Un sistema de control es dominado básicamente por la tecnología que se aplica en su diseño, sin embargo este posee una parte que es la interacción entre el usuario y la máquina, la cual empuja más la dirección del proceso de DI hacia el dominio por el usuario, es de notar que en los objetivos se plantea una gran importancia al hecho de que el usuario pueda modificar los parámetros del sistema bajo una interfaz agradable y entendible para este.

7.4 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL DISEÑO INDUSTRIAL

- **Calidad de las interfaces de usuario:** Podemos decir que la interfase es muy amigable y se hizo de la manera más sencilla posible, porque se hizo grafico y el manejo es casi intuitivo y con características seguras que no permiten por ejemplo meter datos que sean incoherentes con el uso normal del horno.
- **Requerimientos emocionales:** El sistema expresa calidad y trae con esto orgullo de posesión, cuando el empresario tiene el sistema de control en su horno se siente más independiente en lo que a expertos de hornos respecta.
- **Facilidades de mantenimiento y reparación:** La parte mecánica o la que tiene que ver con el quemador y el modutron es sencilla porque la empresa ya esta acostumbrada desde hace mucho tiempo al mantenimiento del quemador, como los vendedores del los modutrones están en la ciudad de Cali, la reparación de estos es relativamente rápida. Los sensores son básicamente de fácil reemplazo en caso de fallo y de mantenimientos muy básicos.
- **Uso apropiado de los recursos:** hemos tenido que escoger: los nuevos quemadores, actuadores, PLC, y el resto son cosas básicas. Cada uno de los que se han escogido es un equilibrio entre precio, calidad, lo más usado por otras empresas pero sobre todo las especificaciones de nuestra empresa (cliente). De esta manera tenemos en cuenta los aspectos ambientales, ecológicos y legales (teniendo en cuenta normas de calidad).
- **Diferenciación del producto:** En la interfase será muy notoria la exclusividad del sistema porque es literalmente único, y la parte mecánica tendrá cierta identidad distinguida pero no tan notoria como la interfase.

○ Evaluación de la calidad del DI

Figura 14 Dirección del proceso de Calidad



8. DISEÑO PARA MANUFACTURA

8.1 ESTIMACION DE COSTOS DE MANUFACTURA

	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
Fuente Sitop 2A Entrada 120/230 Vac; Salida 24	355.973	1	355.973
CPU226, Fuente 24 Vdc, 24DI 24 Vdc, 16DO 24 Vdc, Mem 16/24KB, 2 Port MPI/PPI,7 Mod Máx	\$ 1.651.455	1	1651455
Cable PPI	\$ 300.000	2	600000
MODUTRON M728A1004 (Dólar)	1.370.000	8	10960000
QUEMADOR POWQER FLAME (Dólar)	6.772.000	8	54176000
CARCASA PLC	100.000	1	100000
controlador de llama y encendido	300.000	16	4800000
Borneras	500	50	25000
Cables/metro	2.000	100	200000
	SUBTOTAL		67.387.455
	IVA 16%		10781992,8
	TOTAL		78.169.448

Es de tener en cuenta que varios de estos precios estas sujetos a la variación de precios debido al cambio del dólar debido a que no se consiguen en Colombia si no en Canadá (empresa Honeywell).

8.2 COSTO DE MONTAJE

El montaje durara 4 meses, para hacer el montaje es necesario la compra de todos los materiales listados con anterioridad que dado el previo estudio acceden a una inversión en materiales de \$ 78'169.448 de pesos mas la mano de obra de los ingenieros que serán \$ 3'000.000 de pesos para cada ingeniero con prestaciones incluidas durante los cuatro meses que dure el montaje.

8.3 CANTIDAD DE QUEMAS SUGERIDAS

Viendo el anexo C obtuvimos que la inversión se puede recuperar en 8 meses haciendo como mínimo 2 quemas a un valor de 11'000.000 millones cada una.

9. DISEÑO PARA MANTENIMIENTO

Elementos que requieren mantenimiento

- Quemadores
- Modutrones
- Sensores
- Calibración de sensores

○ **Mantenimiento preventivo**

- Quemadores: mensualmente se deben de bajar del horno los quemadores y limpiarlos con el fin de evitar fallas en la válvula de salida de combustible y aire.

- Modutrones: aunque los modutrones van a quedar instalados en los quemadores es muy independiente del quemador y se puede bajar sin necesidad de bajar el quemador el mantenimiento que se le hace a este es con el fin de que se puedan mover las diferentes palancas encargadas de permitir el paso de aire y combustible.

○ **Mantenimiento predictivo**

- Algunos de los sensores que existen son susceptibles a diferentes factores ambientales en el caso de las termocuplas tienden a degradarse, por esto se hace medición de las respuestas del sensor. Algunas calibraciones se hacen en la universidad del valle en el centro de empadronamiento.

○ **Mantenimiento correctivo**

- En caso de desgaste de los sensores y de ciertos empaques o partes del modutron, es necesario reemplazar.

10. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

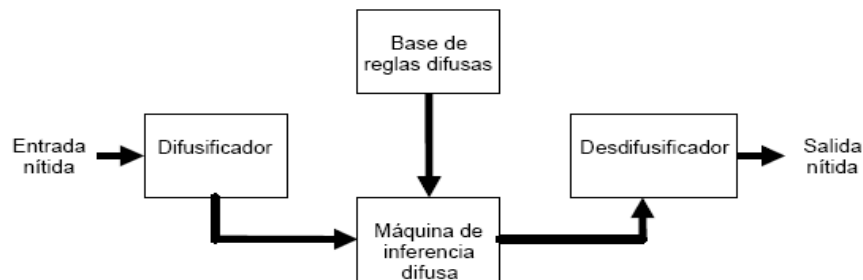
10.1 DISEÑO DEL CONTROLADOR

Para nuestro desarrollo del sistema de control para el horno guinea es de mucha importancia saber escoger el tipo de controlador que nos ayude con un factor supremamente importante que es el ahorro de combustible y el control sobre las señales de salida.

Debido a la falta de herramientas computacionales en la empresa y el alto costo que tiene hacer una prueba, nos era bastante difícil obtener una función de transferencia de la planta, por lo cual se llegó a la conclusión de diseñar un controlador difuso, esto con el fin de diseñar un control que no este basado en la función de transferencia de dicha planta, si no en la experiencia del operario para lo cual es sistema difuso es el mas indicado.

Sistemas difusos Takagi-Sugeno-Kang (TSK). Es semejante al sistema puro, pero utiliza variables difusas sólo en las premisas de las reglas condicionales, no en ambas (premisas y conclusiones). En este caso las conclusiones de las reglas están dadas con valores numéricos constantes o expresiones que relacionan las entradas de cada regla de manera lineal. La salida total del sistema es un promedio ponderado de las conclusiones de las reglas utilizadas.

Figura 15. Configuración básica de un sistema difuso con difusificador y desdifusificador



Fuente: VILLANUEVA, Cesar y SOTO, Rogelio. Sistema de control difuso para nivel 1 de temperatura en hornos de recalentamiento en APM LCA. Monterrey: Tecnológico de monterrey, 2002. p. 6.

El controlador difuso está basado en las reglas condicionales. Para la generación de las reglas difusas se escoge un método que resulta muy conveniente cuando se tienen 2 entradas y una salida. Este método consiste en representar en una tabla los valores de las variables (ahora consideradas como lingüísticas) cambio de error ($\Delta e(t)$) y el error ($e(t)$). La celda correspondiente a la intersección (fila-columna) de ambas variables contiene el valor lingüístico para la salida correspondiente a cada uno de los valores de entrada.

Los valores en la tabla formada por éstas variables se representan con los siguientes conjuntos difusos:

- **NB**: Representa a los negativos grandes (*Negative Big*)
- **NM**: Representa a los medio negativos (*Negative Medium*)
- **NS**: Representa a los negativos pequeños (*Negative Small*)
- **Z**: Representa al cero (*Zero*)
- **PS**: Representa a los positivos pequeños (*Positive Small*)
- **PM**: Representa a los medio positivos (*Positive Medium*)
- **PB**: Representa a los positivos grandes (*Positive Big*)

Tabla 12. Reglas conjuntos difusos

$e \backslash \Delta e$	PB	PM	PS	Z	NS	NM	NB
PB	PB	PB	PB	PB	PM	PS	Z
PM	PB	PB	PB	PM	PS	Z	NS
PS	PB	PB	PM	PS	Z	NS	NM
Z	PB	PM	PS	Z	NS	NM	NB
NS	PM	PS	Z	NS	NM	NB	NB
NM	PS	Z	NS	NM	NB	NB	NB
NB	Z	NS	NM	NB	NB	NB	NB

	Zona 0
	Zona 1
	Zona 2
	Zona 3
	Zona 4

Fuente: VILLANUEVA, Cesar y SOTO, Rogelio. Sistema de control difuso para nivel 1 de temperatura en hornos de recalentamiento en APM LCA. Monterrey: Tecnológico de monterrey 2002. p. 8.

- **Zona 0:** En esta zona, tanto el error como el cambio en el error son pequeños, esto significa que la variable controlada está cerca del estado estable. Por lo tanto, las reglas en esta zona se refieren a la estabilidad del sistema de control, lo que por lo general se mide por el sobretiro y el tiempo de establecimiento.

- **Zona 1:** El error es negativo grande, lo que significa que la variable controlada está lejos del estado estable. Por lo tanto, las reglas en esta zona se relacionan con la sensibilidad del sistema de control.
- **Zona 2:** Aunque el error está cerca de cero o positivo, la variable controlada sigue en decremento. Estas reglas rara vez se utilizan en un controlador normal.
- **Zona 3:** Esta zona es similar a la zona 1, pero se relaciona con la sensibilidad cuando los puntos de ajuste cambian positivamente, lo cual es medido por el tiempo de crecimiento.
- **Zona 4:** Esta zona es similar a la zona 2. Las reglas en la zona 2 y en la zona 4 son menos importantes para el desempeño de un sistema de control.

10.2 OBTENER FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA PARA LA SIMULACIÓN

Para realizar simulaciones en Matlab es necesario partir de una función de transferencia, basándonos en la experiencia del operador de la planta y algunas curvas reales de los tratamientos térmicos realizados, trataremos de obtener parámetros cercanos a los reales de la planta, esto para comprobar que nuestro sistema de control es independiente de la planta que se quiere controlar.

Se sabe que el sistema tiene un comportamiento de primer orden muy lento, con un tiempo de retardo, como se expresa con la siguiente función de transferencia:

$$F(s) = \frac{K e^{-ts}}{\tau s + 1}$$

- **K= ganancia estática del sistema**, suponiendo una entrada de 120 V, Una salida máxima de 480 °C, la ganancia estática es: 4 °C/V, empíricamente pues depende del valor de entrada del sistema pero como es manual no tenemos un valor de referencia (aunque nuestro sistema puede controlar con variaciones de K), en últimas si K aumenta nuestro esfuerzo de control será menor pues quiere decir que al excitar la planta con un valor este será multiplicado por K y allí se estabilizara.

- **t = tiempo de retardo del sistema**, este es el tiempo en el que nuestro sistema demorara en variar su primer valor de temperatura, por experiencia del operario se sabe que es alrededor de 1 minuto que es 60 segundos, donde se notara la primera variación de temperatura en el horno.

- τ = Cuatro veces este valor es el tiempo de estabilización, se estima que este parámetro tiene un valor de 450seg, esto, con base en la experiencia del operario que nos informaba que aunque el nunca había hecho la prueba de prender los quemadores y ver cuanto tiempo se demoraba en estabilizarse, se basaba en la rata de tiempo con que se demoraba en caer la temperatura y de allí decía que asemejaba eso al tiempo en el que se podía estabilizar el cual era de 1800 seg.

Con estos valores considerados más críticos para el control de la planta de primer orden, obtenemos una función de transferencia para efectos de simulación y control, con la cual se pretende comprobar el siguiente supuesto: un control que funcione en este caso controlará los casos menos críticos.

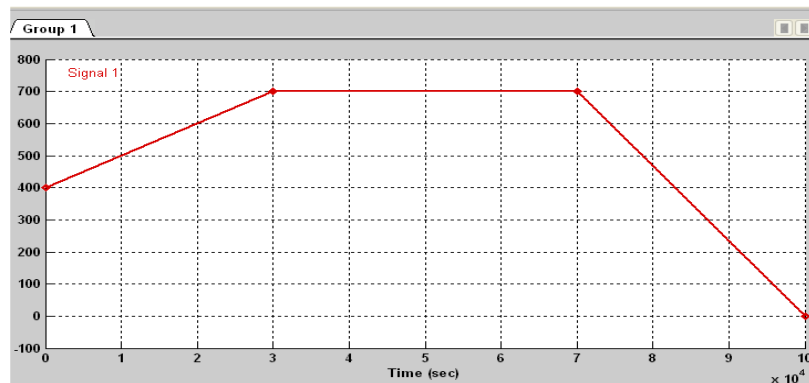
- Función de transferencia para simulación

$$F(s) = \frac{4e^{-60s}}{450s+1}$$

10.3 SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Luego de obtener la función de transferencia con la que analizaremos nuestro fuzzy procedemos a realizar el montaje de la simulación en simulink donde creamos una señal de referencia igual a la que se genera por la normas ASME, esto es realizado mediante el bloque signal builder de simulink ver figura (12)

Figura 16. Grafica de la señal de referencia.



Seguido a la realización de la referencia de nuestro sistema, procedemos a realizar el montaje completo del sistema de control ver figura (13).

Figura 17. Grafica del sistema de control

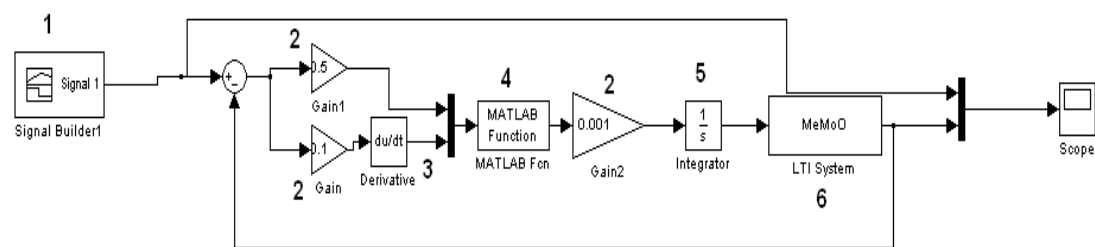


Tabla 13 Descripción del sistema de control

No.	Nombre	Función
1	Señal de referencia	Esta es la señal generada para simular la señal de entrada a mi sistema de alivio
2	Ganancias estáticas del sistema fuzzy	Estas son necesarias para el sistema, debido a que los valores de la acción de control del fuzzy son muy grandes para la planta
3	Derivada del error	Entrada directa al fuzzy por las reglas
4	Función de fuzzy	Controlador fuzzy
5	Integrador del mi señal fuzzy	Integrador encargado de generar la señal real que entrara a la planta
6	Función de transferencia	Función que describe el comportamiento de la planta

Luego de generar la señal de referencia acondicionamos el fuzzy mediante ganancias, esto se hace con el fin de garantizar un esfuerzo de control apropiado figura (14) para ingresar al integrador el cual me dará la señal integrada obteniendo así la señal respectiva de una rampa figura (15), esta será la señal que ingresara a la planta para obtener la respuesta deseada por el usuario.

Figura 18. Señal de salida fuzzy

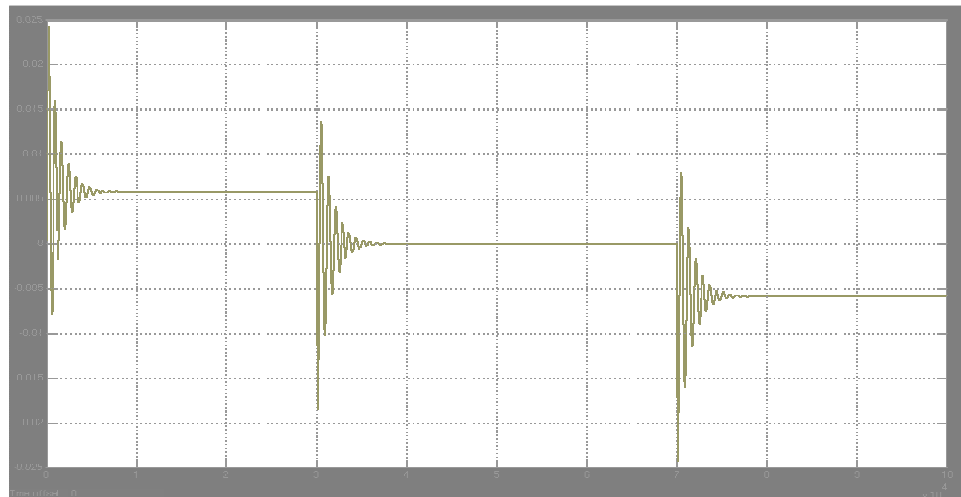
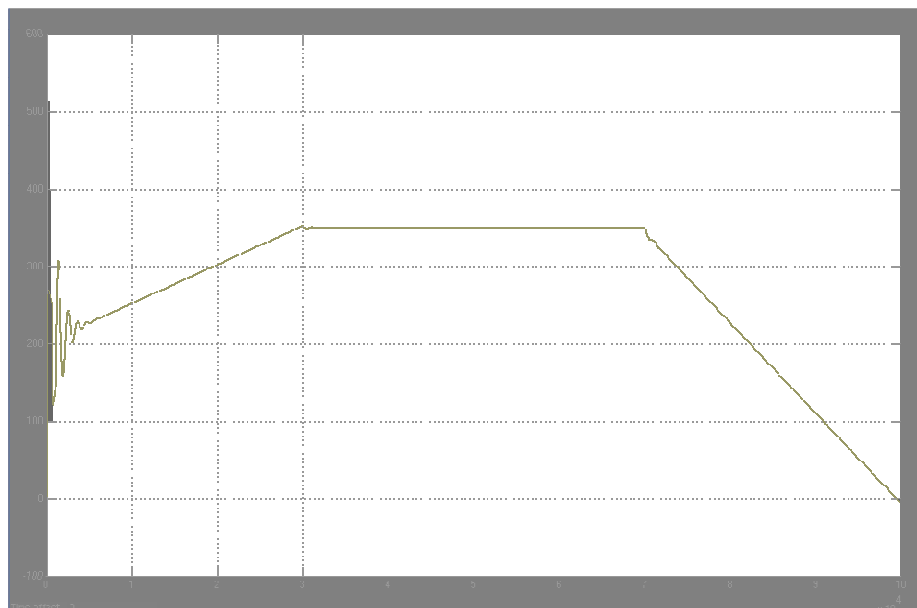


Figura 19. Señal de salida del integrador



Luego de ajustar el fuzzy con las ganancias procedemos a ver la respuesta de nuestro sistema en las graficas de simulación. Figura (16)

Figura 20. Entrada Vs Salida (completa)

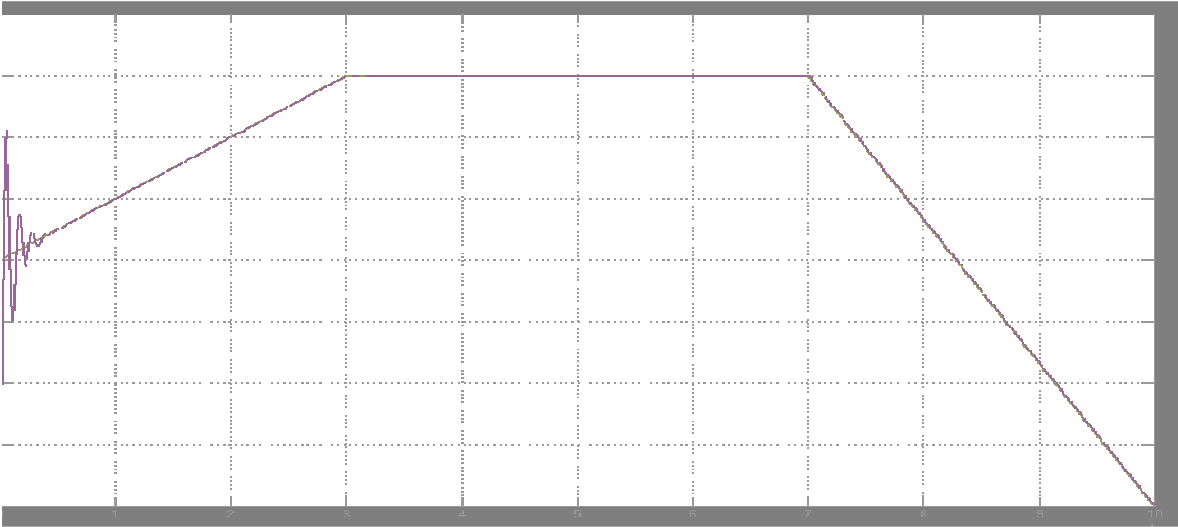


Figura 21. Entrada Vs Salida (1)

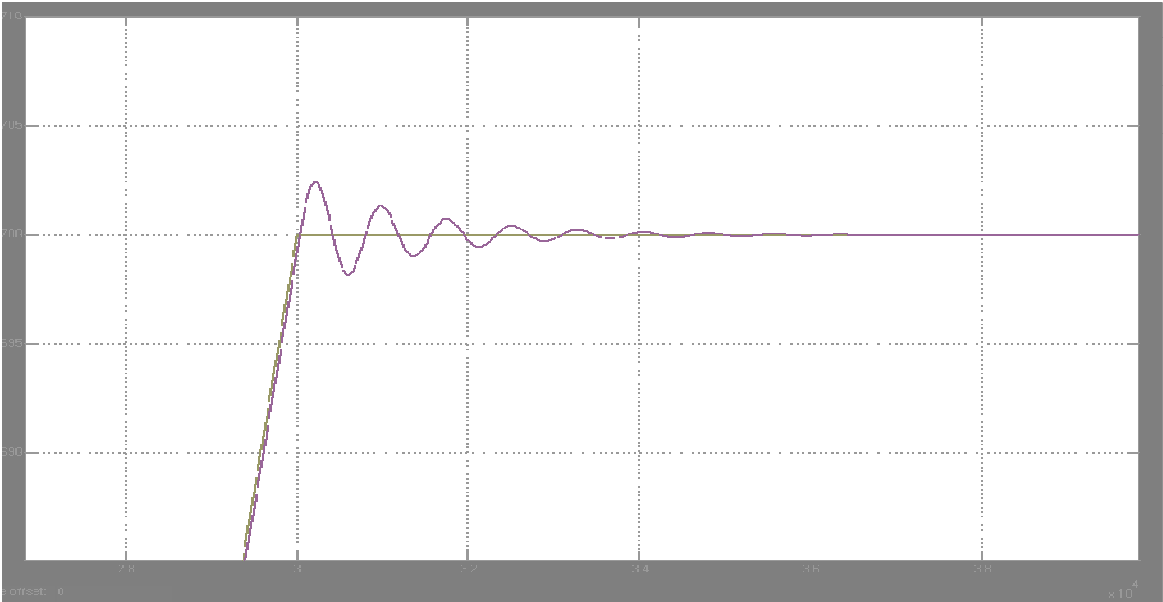
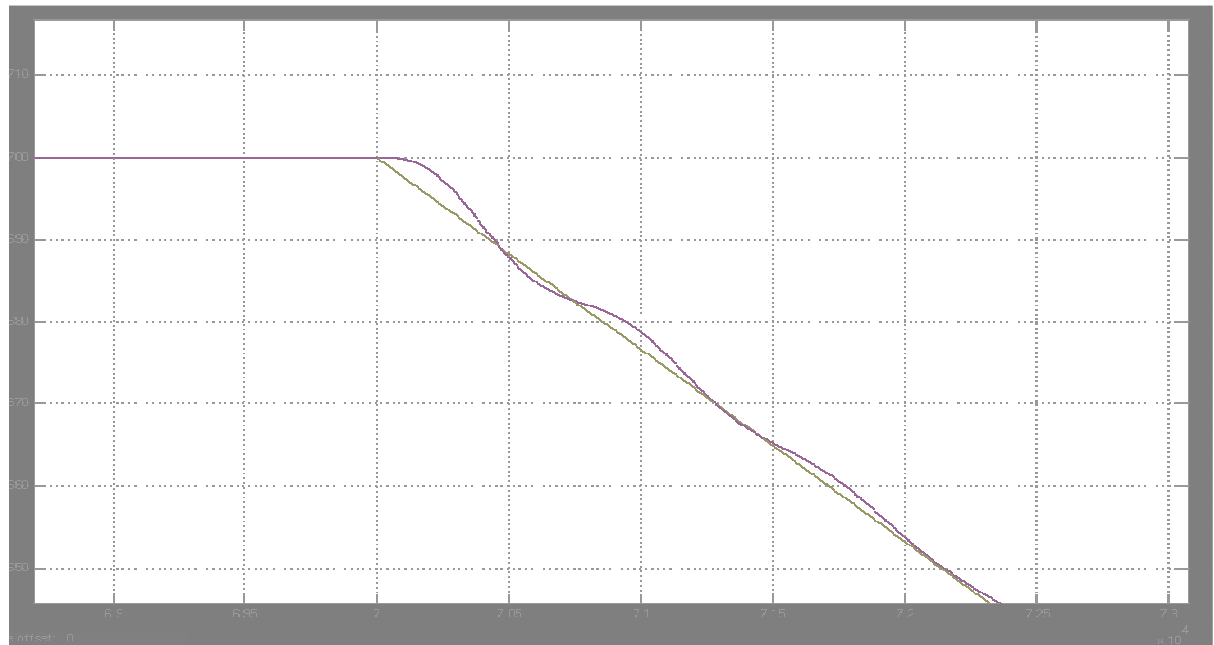


Figura 22. Entrada Vs Salida (2)



Como se puede ver en las graficas (18) y (19) el fuzzy logra tener un control sobre la planta y un error no mayor del 1% cumpliendo con las exigencias de nuestro diseño que se traduce en un ahorro en combustible en los alivios a piezas.

Este sistema logra controlar la planta sin importar los cambios en sus parámetros, aunque teóricamente puede ser controlada todas las plantas esto en la practica no es así, pues existen puntos de saturación de los controladores, estos serian en nuestro caso.

- Un valor de acción de control por encima de 1000, al ser diseñado el fuzzy sus valores máximos de entrada como de salida fueron 1000, esto debido a que el valor máximo a calentar una pieza es de 1000 °C y suponiendo un error muy grave el error máximo seria una medición de temperatura en 0 grados y la de referencia de 1000 por lo cual se decidió hacer el valor de salida e ingreso al fuzzy de 1000.
- Otro punto de saturación es sobre los actuadores (en nuestro caso los quemadores), nuestros quemadores poseen una potencia calorífica de 1'200.000 BTU por consiguiente si llegara el caso en que se necesitara valores de BTU mayores a este el controlador entraría en saturación pues este aunque mande mas señal de referencia no va a poder hacer que el sistema llegue a este valor

(nuestro sistema esta muy por encima ya que con la cantidad de potencia de los quemadores sobrepasamos la temperatura de 1000 °C)

- Basándonos en la experiencia del operador obtuvimos una función de transferencia aproximada, la cual está sujeta a variaciones puesto que no se hicieron pruebas exactas para obtener un modelo más eficiente, sin embargo mediante las pruebas de simulación logramos obtener unos valores máximos y mínimos para los parámetros de la planta, para los cuales se sigue controlando el sistema. Ver Tabla 14

Tabla 14. Valores marginales de la función de transferencia

Parámetros	Valor mínimo	Valor máximo
K, ganancia estática	1	1000
t, tiempo de retardo del sistema	1	60% de τ
4 x τ tiempo de estabilización	1	4500

Se sabe que la planta difícilmente rebasará estos valores máximos y mínimos de simulación, por tanto, podemos estar seguros que mientras la planta no salga de estos parámetros nuestro sistema de control podrá manejar la planta.

Una ganancia estática mayo a 1000 implicaría que nuestra señal de entrada al sistema que es un voltajes y se transforme en temperatura mediante el actuado, su relación diera un valor mayor a 1000 lo cual puede ser posible pero como nuestro sistema solo va hasta 1000 grados y las salidas del PLC hasta 24 voltios se ve que la ganancia estática no superara este valor. Por simulación obtuvimos que al 60% el control del fuzzy empieza a tener mayores errores en su control, pues aunque la planta es lenta, no es necesario decir que no se demorara 8 horas en estabilizarse, por consiguiente podemos decir que nuestro fuzzy si esta lo suficientemente robusto para hacer el control sobre la planta.

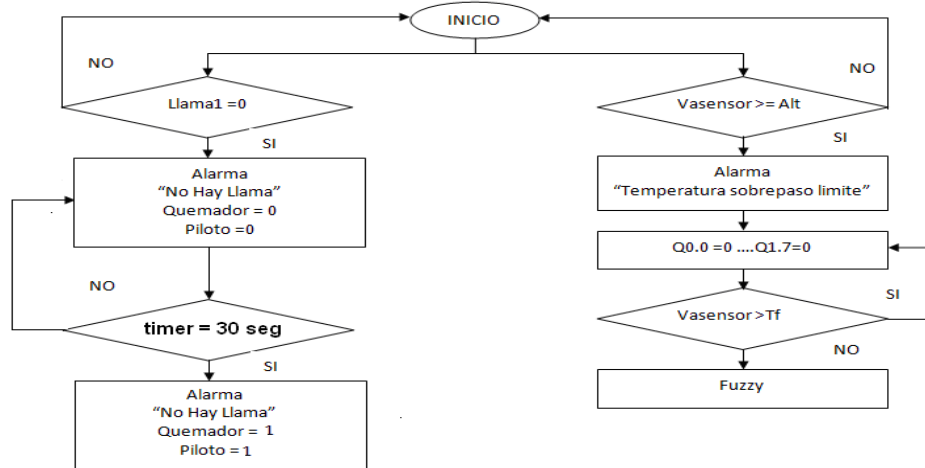
- Variables para el diagrama de flujo

Tabla 15. Descripción de las variables de los diagramas de flujo

Nombre	Descripción
Tf= temperatura final	Temperatura a la cual se mantiene la pieza durante un determinado tiempo y temperatura máxima a la que estará expuesta la pieza
400 °C	Temperatura a la que inicia el control de nuestro sistema, debido a las normas ASME usadas en la empresa no es necesario un control sobre la primera parte pues lo importante es llegar lo mas rápido a la T de 400 °C y luego en este punto si aplicarle el control
27 °C	Temperatura ambiente de inicio del sistema
Tis= Tiempo inicial de subida	Tiempo que demora el horno en llevar la temperatura hasta su valor inicial de control de 400 °C, este valor debe ser lo mas pequeño posible para ahorrar tiempo y combustible
Ts= Tiempo final de subida	Tiempo de acenso dado por el usuario según las normas ASME este tiempo es dado en horas
Tsos = Tiempo de sostenimiento	Tiempo en el cual se sostendrá la temperatura máxima (Tf) a la que será sometida la pieza
Tb = Tiempo de Bajada	Tiempo de descenso, tiempo que debe transcurrir para que la pieza llegue a temperatura ambiente
Grafica roja	Esta grafica se obtiene de la norma ASME y depende del grosor de la pieza.
AIT= Alarma de temperatura	Temperatura máxima a la que debe ser sometido el sistema, en caso de sobrepasar esta temperatura debe dar aviso de alarma
Botón de Inicio	Botón para ejecutar el control del sistema
Llama	Si esta en 1 es porque hay llama en el quemador si esta en 0 es porque no hay llama

- Diagramas de flujos para el desarrollo del sistema de control

Figura 23. Diagrama de flujo para las alarmas



Nota: lo mismo para las 16 llamas de los 16 quemadores

Figura 24. Diagrama de flujo Fuzzy

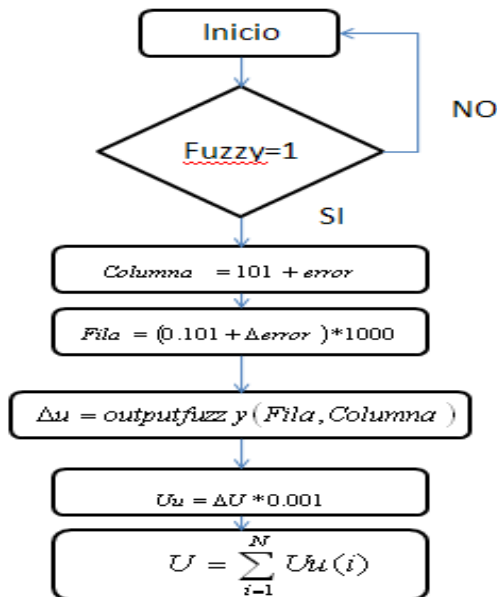


Figura 25. Diagrama de flujo del sistema de control

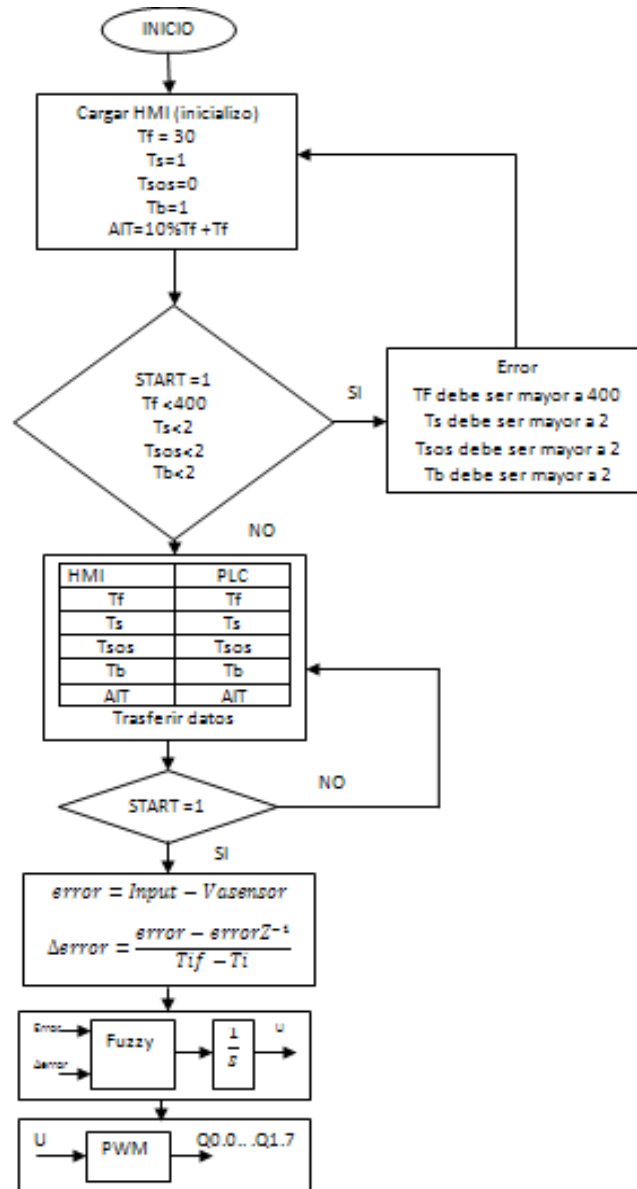
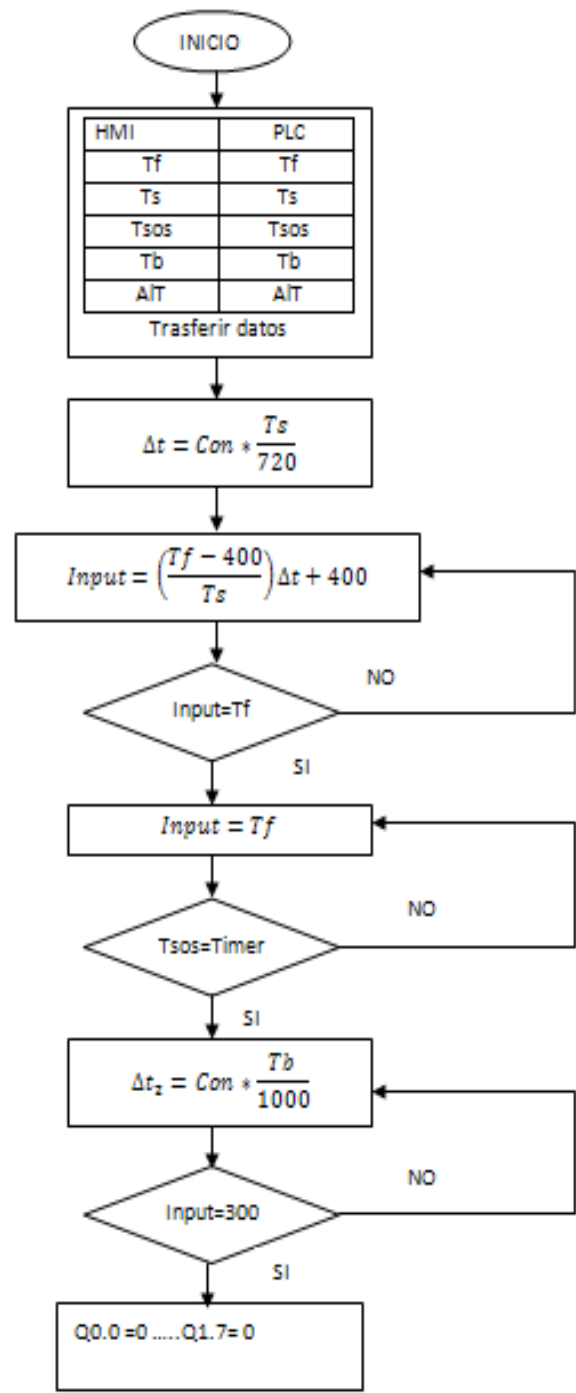


Figura 26. Diagrama de flujo para crear la referencia



10.4 DISEÑO DEL HMI

Para la realización del HMI es de mucha importancia tener en cuenta los datos de entrada que debe ingresar el usuario, en lo posible un HMI debe de tener la menor cantidad de datos a ingresar. La siguiente tabla especifica cuales deben ser los valores que el usuario debe ingresar. Ver tabla 15

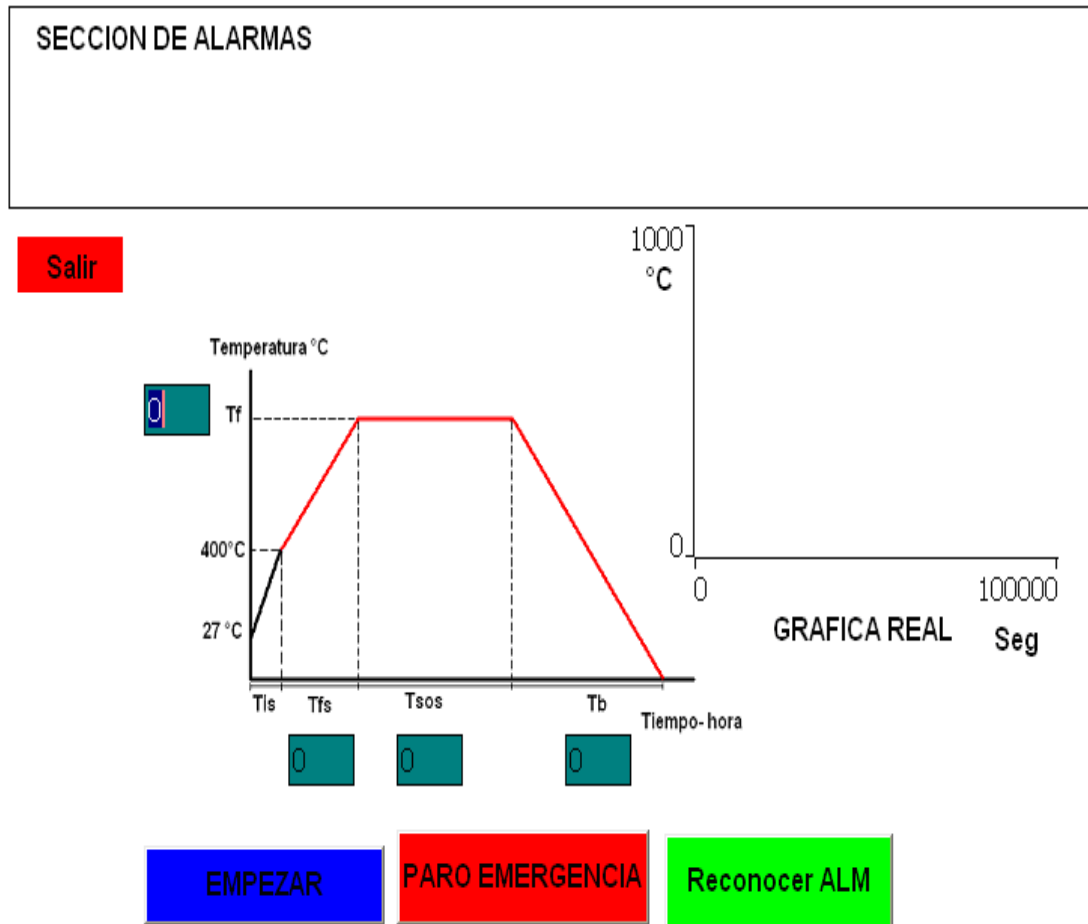
Tabla 16. Valores Marginales HMI

Nombre	Valores marginales	Valor inicial
Tf= temperatura final	$400 < T_f < 1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$	27 $^{\circ}\text{C}$
Tis= Tiempo inicial de subida		
Ts= Tiempo final de subida	$2 \leq T_s \leq 10$	2 Horas
Tsos = Tiempo de sostenimiento	$2 \leq T_s \leq 10$	2 Horas
Tb = Tiempo de Bajada	$2 \leq T_s \leq 10$	2 Horas
INICIO	0 ó 1	0
Paro de emergencia	0 ó 1	0
Grafica Real	Grafica real del comportamiento del sistema	
Zona de alarma	Zona donde se mostraran las alarmas	

Para la realización de la interfaz de usuario utilizamos el programa SIMATIC PROTOOL, programa especializado para realizar HMI de PLC.

Mediante el análisis de cuales deben ser los datos de ingreso por el usuario y especificar la información que este debe mostrar al operario, se diseño un HMI como se muestra en la grafica de Interfase Usuario Maquina.

Figura 27. Grafica Interface Usuario Maquina.



En la figura (22) se nota el esquema de nuestro HMI realizado en Protool, donde cumplimos con los requerimientos del cliente.

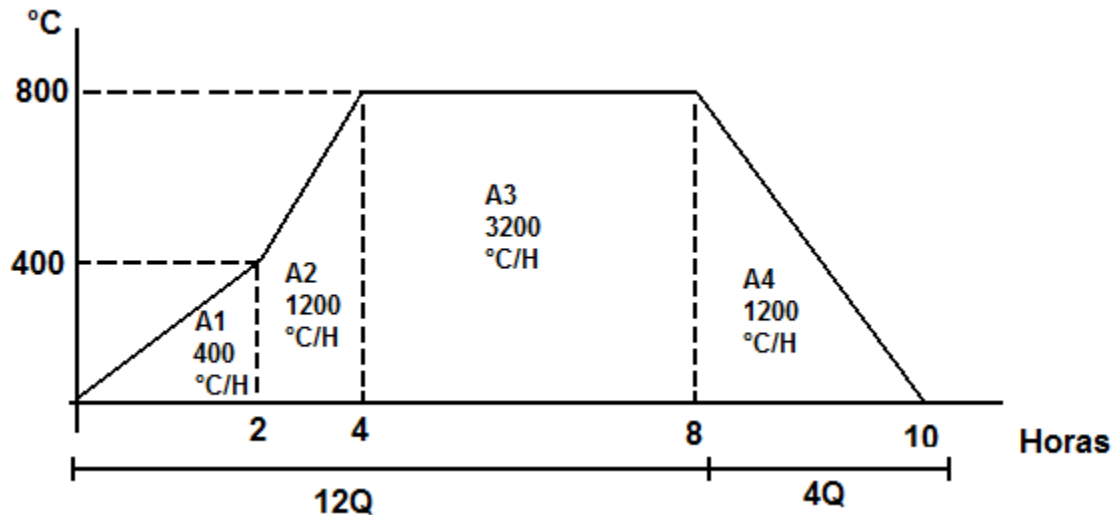
10.5 SELECCIÓN DE ACTUADORES

En nuestro caso solo es necesario escoger ocho actuadores (quemadores de gas), para escoger este tipo de actuadores es necesario obtener la cantidad de BTU necesarias para calentar el horno a la mayor rapidez posible y que cumpla con las exigencias a las que puede llegar a estar sometido.

Quemadores: debido a la falta de información para obtener los BTU de los quemadores originales y a la imposibilidad de hacer una medición practica, se

decidió caracterizar la potencia de los quemadores por medio de formulas estáticas de un proceso de alivio térmico de dos cureñas de un material A-36 y espesor máximo de 3.5" induciendo formulas por medio de la respuesta obtenida por la grafica de respuesta del horno.

Figura 28. Grafica de sostenimiento para dos cureñas norma ASME.



• Áreas bajo la curva de sostenimiento

- A1 $\frac{400^{\circ}\text{C} \times 2h}{2} = 400^{\circ}\text{C}/h$
- A2 $2h \times 400^{\circ}\text{C} + \frac{400^{\circ}\text{C} \times 2h}{2} = 1200^{\circ}\text{C}/h$
- A3 $800^{\circ}\text{C} \times 4h = 3200^{\circ}\text{C}/h$
- A4 $2h \times 400^{\circ}\text{C} + \frac{400^{\circ}\text{C} \times 2h}{2} = 1200^{\circ}\text{C}/h$

El Área 4 varía un poco del cálculo de las otras áreas, esto se debe a que en el decremento de temperatura solo se prenden 4 quemadores para que la tasa de cambio de bajada no sea tan brusca y se genere un temple haciendo que cambie las características del material.

- **Calor por hora generado por los quemadores** Áreas X Quemadores
 $12Q \times 4800^{\circ}\text{C} + 4Q \times 1200^{\circ}\text{C} = 62400^{\circ}\text{C} \times h \times Q$

Con este resultado obtenemos el calor por hora acumulado por todos los quemadores que estuvieron trabajando en dicho alivio, es de notar que en las A1, A2 y A3 se usaron los 12 quemadores y en la A4 se uso solo 4 quemadores para el decremento de temperatura y luego de las 2 horas este se apagan y dejan el sistema enfriando al ambiente.

- **Coeficiente de galones usados en cada área,** total gal gastado/Calor generado por quemadores

$$\frac{650\text{gal}}{62400^{\circ}\text{C} \times h \times Q} = 0,010416667 \frac{\text{gal}}{^{\circ}\text{C} \times h \times Q}$$

Este coeficiente nos da la cantidad de galones necesarios para producir tanto calor en una cantidad de tiempo y generada por una conjunto de quemadores encendidos en ese momento.

- **Consumo de galones por área**

- **A1** $0,010416667 \frac{\text{gal}}{^{\circ}\text{C} \times h \times Q} \times 400^{\circ}\text{C} \times h \times Q \times 12Q = 50\text{gal}$
- **A2** $0,010416667 \frac{\text{gal}}{^{\circ}\text{C} \times h \times Q} \times 1200^{\circ}\text{C} \times h \times Q \times 12Q = 150\text{gal}$
- **A3** $0,010416667 \frac{\text{gal}}{^{\circ}\text{C} \times h \times Q} \times 3200^{\circ}\text{C} \times h \times Q \times 12Q = 400\text{gal}$
- **A4** $0,010416667 \frac{\text{gal}}{^{\circ}\text{C} \times h \times Q} \times 1200^{\circ}\text{C} \times h \times Q \times 4Q = 50\text{gal}$

Como podemos ver el área de sostenimiento es la que más galones consume y como era de esperarse el consumo mínimo es en el ascenso a los 400 grados y en el descenso para enfriar la pieza, es así como logramos obtener la cantidad de galones utilizados en cada una de nuestras áreas respectivas aunque nosotros podemos comprobar si los datos tienen congruencia entre si esto se verifica con la suma de los galones y si esta es de 650gal (cantidad total gastada) comprobamos que si es verídica los factores encontrados.

$$50\text{gal} + 150\text{gal} + 400\text{gal} + 50\text{gal} = 650\text{gal}$$

- Consumo por quemador

- A1 $\frac{50 \text{ gal}}{\frac{120}{2h}} = 2.083333 \frac{\text{gal}}{h}$

- A2 $\frac{150 \text{ gal}}{\frac{120}{2h}} = 6.25 \frac{\text{gal}}{h}$

- A3 $\frac{400 \text{ gal}}{\frac{120}{4h}} = 8.3333 \frac{\text{gal}}{h}$

- A4 $\frac{50 \text{ gal}}{\frac{40}{2h}} = 6.25 \frac{\text{gal}}{h}$

- Gasto promedio = $5.73 \frac{\text{gal}}{h}$

- Gasto mayor = $8.333 \frac{\text{gal}}{h}$

Por medio de los cálculos anteriores obtenemos unos valores aproximados del gasto de combustibles por hora que hacen los quemadores dependiendo del área en el que se encontraban.

- **Convertir consumo de galones en energía calorífica BTU** Para transformar el consumo de galones en BTU debemos escoger el consumo mayor de estos, con el fin de suplir todos los valores menores a este y poner generar la potencia calorífica requerida.

Poder calorífico Inferior del ACPM = 139000 BTU/Galón

Con este dato y multiplicándolo por el consumo mayor obtenemos un valor aproximado de BTU necesarios para escoger los quemadores a gas.

$$8.333 \frac{\text{gal}}{h} \times 139000 \frac{\text{BTU}}{\text{gal}} = 1158333,333 \frac{\text{BTU}}{h}$$

$$5.73 \frac{\text{gal}}{h} \times 139000 = 810370 \frac{\text{gal}}{h}$$

Se obtuvieron dos valores de BTU para escoger el quemador respetivo se escogerá el de mayor valor, este será suficiente para suplir todas las áreas de los alivios.

10.6 ADECUACION DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS A NUESTRO SISTEMA DE CONTROL.

La empresa tiene 6 dispositivos para la medición de temperatura referencia CAL3300. Cada uno de esos dispositivos tiene la tarea de recibir la señal de las termocuplas, mostrar la temperatura en el display que tiene integrado y transmitir la medición al computador.

Figura 29. Cal 3300 encargado de recibir los datos que entregan las termocuplas y pasarlos al PC



Fuente: Operating Manual CAL 3300 AND CAL 9300 [en línea].UK: CAL Controls Ltd. 2007 [consultado 07 de Septiembre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.cal-controls.com>

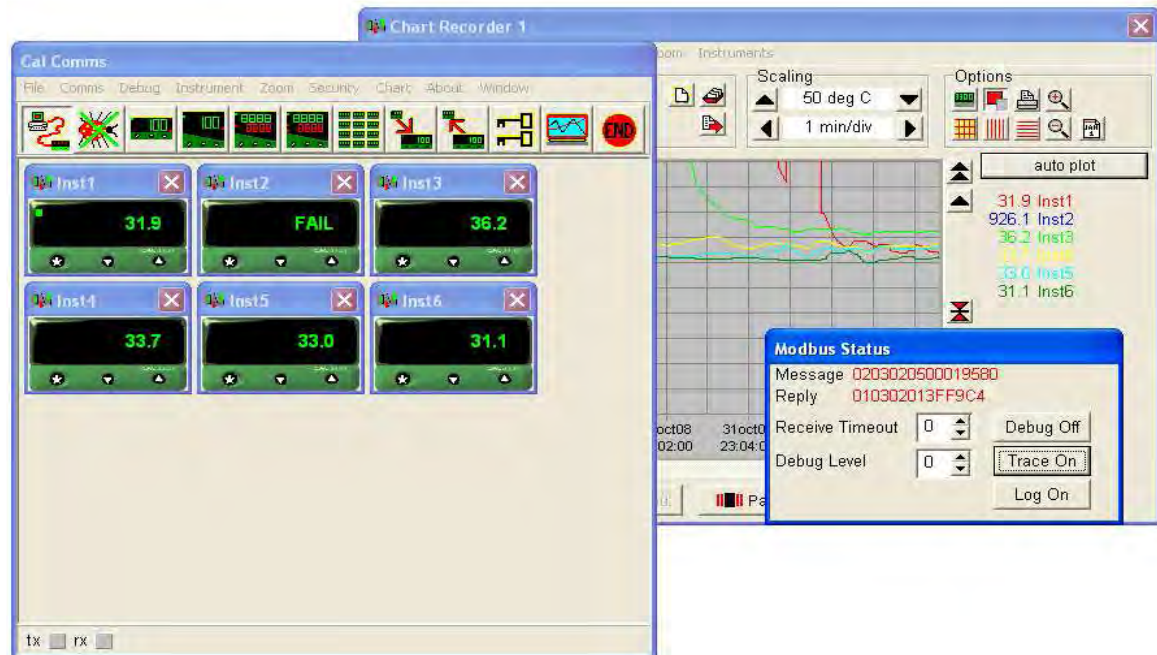
El cal3300 toma los datos recibidos y los entrega a un computador por el puerto serial (RS 232).

El cal3300 llega con un software para instalar en el computador, su función es la de dar herramientas al PC para manipular el cal3300. Se puede manipular la escala, las unidades entre otras cosas. En conclusión este es su sistema de adquisición de datos. A los clientes de la empresa les gusta mucho que la empresa tenga este dispositivo y en especial las graficas que les entrega el PC que podemos ver en el anexo [A], a la empresa también le gusta cómo funciona su dispositivo y como hace poco tiempo lo tienen, su inversión debe de seguir

funcionando, por esto uno de los objetivos principales del proyecto es (*Adecuar el sistema de adquisición de datos actual con el software que haría el control*).

La interface mostrada en el computador es la figura 26.

Figura 30. Grafica de interfase en el computador



Lo que está en el fondo es la tabulación de los datos de temperatura Vs tiempo, cada uno de los colores significa un *cal/3300* por ende significa cada una de las termocuplas porque cada *cal/3300* tiene conectada una termocupla, en este caso están conectadas las 6 termocuplas o 6 dispositivos.

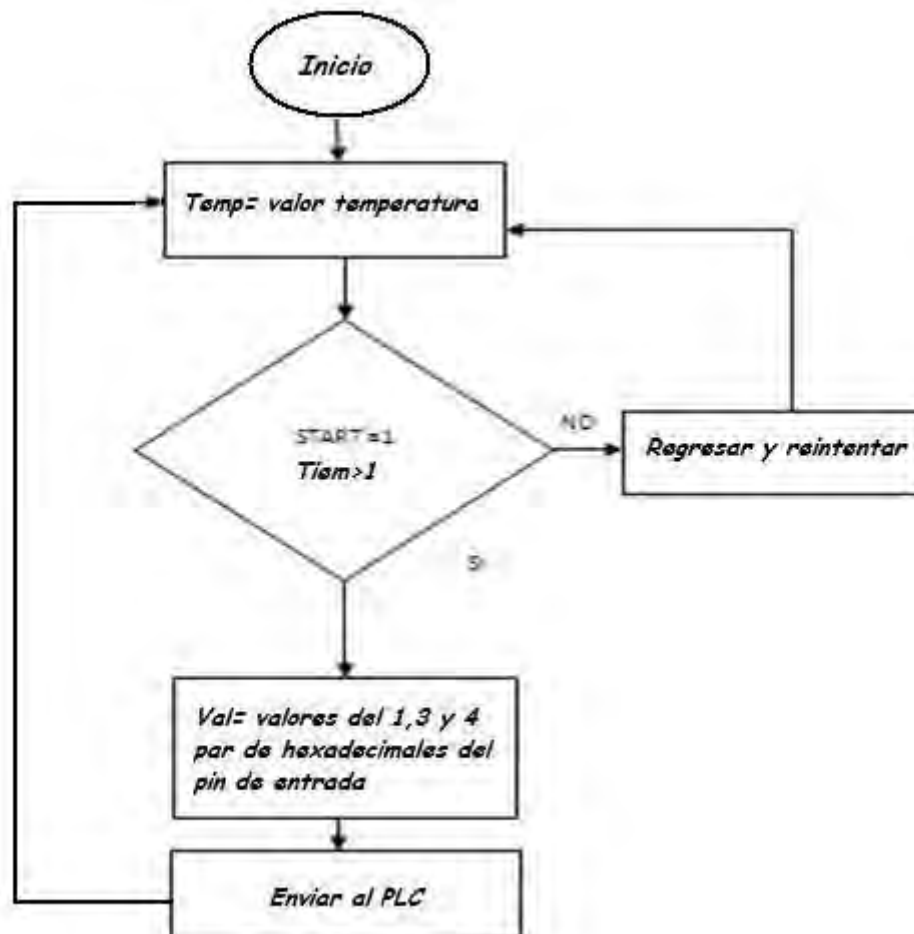
Las graficas que están al frente son: la de la izquierda muestra lo mismo que se muestra en los dispositivos físicos y la de la derecha nos muestra el código que está llegando y saliendo por el puerto serial, lo que se necesita para poder adecuar el sistema de control con el sistema de adquisición de datos es interpretar los datos que están llegando.

Los datos que están llegando se muestran en el PC como números hexadecimales y van en pares. Hay 14 números pero nos enfocaremos en los pares van de 0 a 6 pares, pero los que nos interesan son los 1, 3 y 4, el 1 nos muestra el *cal/3300 al*

que se refiere, como hay 6 cal3300 entonces el varia entre 1 y 6. si pasamos de hexadecimal a decimal el par 3 y 4 nos daremos cuenta que el 3 par es el digito mas significativo y el 4 par es el menos significativo para la temperatura, por ejemplo la grafica izquierda de la 26 donde dice Reply nos muestra en su 3 y 4 par 01 3F si pasamos 013F resulta 319 todos estos valores los tenemos que dividir entre 10 para obtener la temperatura mostrada, no olvidar que el primer par de la grafica en este caso tiene el numero 01 así que la temperatura es de $319/10=31.9$.

Luego de descifrar los datos enviado por el sistema de adquisición de datos, es necesario evaluar un diagrama de flujo en el cual se especifique el envío de datos del comm1 al comm2, y que se encuentre sincronizado con el sistema de control. Ver anexo F.

Figura 31. Diagrama de flujo de la adquisición de datos



11. CONCLUSIONES

- Para hacer una buena conceptualización de las necesidades del cliente es necesario implementar algún método para el desarrollo de la solución de este, en nuestro caso el diseño concurrente, con el cual podemos convertir las necesidades en valores de ingeniería que puedan ser medidos.
- Se identifico los elementos y el proceso involucrado en los alivios térmicos realizados por TISSOT basados en las normas ASME para así comprender mejor el proceso y desarrollar la estrategia de control acorde a la situación.
- Se desarrolló el proceso de ingeniería concurrente donde se identificaron las necesidades existentes con las cuales se desarrollo diferentes soluciones para finalmente escoger la mejor mediante el criterio de funcionalidad y de economía; donde la solución de implementar la estación de control en un PLC dio con los mejores resultados.
- Se deducción una función de transferencia basada en los conocimientos y experiencia del operario, con la cual se puedo hacer una simulación bastante real del sistema.
- Obtuvimos unos valores de simulación que cumplen con los requerimientos del clientes por lo cual se puede decir que el sistema de control en simulación nos da un resultado bastante positivo.
- Se decidió hacer en simulación un FUZZY PD SUGENO, pues en la implementación era más fácil, esto debido a que el tipo de salida es un número real.
- Aunque el control clásico es muy usado en la industria Colombiana, el control Fuzzy es mas eficiente y no depende de la función de trasferencia de la planta, es basado en la experiencia de la persona que opera la maquina.

12. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la elaboración de planos normalizados para la parte eléctrica y mecánica del Horno de la empresa al igual que la implementación de manuales de usuario y mantenimiento para el horno.
- Se recomienda adquirir UPC para los bajones de energías, debido a que estos afectan directamente el proceso de alivio apagando los quemadores, por ende el uso de las UPC en el computador, PLC y para la alimentación de los quemadores.
- Se recomienda no sobrepasar los valores marginales dados en la tabla 15, debido a que el control no servirá para valores por fuera de estos rangos.
- Se recomienda usar PLC como estación de control, aunque se dio el sistema en diagrama de flujos para ser implementado en cualquier lenguaje de programación.
- El sistema será Dual (GAS y ACPM) Pero No debe ser combinando los dos tipos de combustible en un alivio térmico

BIBLIOGRAFIA

BOVERIE, Serge y DEMAYA, Bernard. Fuzzy Control Compared with other automatic control approaches [en línea]. Brighton (GB): 30th IEEE Conference on Decision and Control, 1991[Consultado mayo 2008]. Disponible en internet: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=00261562>

Diseño y construcción de un quemador experimental de ACPM de alta Presión tipo cañón Año IX No 22 [en línea]. Colombia: SCIENTIA ET TECHNICA, 2003 [Consultado Septiembre 2008]. Disponible en internet: <http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/9205069-74.pdf>

Implementación de sistemas difusos [en línea]. Costa Rica: Escuela de ingeniería eléctrica, 2008 [consultado julio 2008]. Disponible en internet: http://www2.eie.ucr.ac.cr/~valfaro/docs/monografias/0302/ucr.ie431.trabajo.2003.02_grupo04.pdf

Normas ASME [en línea]. USA: American society of mechanical engineers, 2005 [consultado agosto de 2008]. Disponible en internet: <http://www.asme.org/>.

Norma Técnica Colombiana [en línea]. Colombia: NTC, 2000 [Consultada Septiembre 2008]. Disponible en internet: http://codazzi4.igac.gov.co/documentos/consulta_publica/DE631-0_Calidad.pdf

Operating Manual CAL 3300 AND CAL 9300. [en línea]. UK: CAL Controls Ltd. 2007 [consultado 07 de Septiembre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.cal-controls.com>

Programación de PLC y HMI [en línea]. Colombia: Siemens región andina, 2008 [Consultado Septiembre 2008]. Disponible en internet: <http://w1.siemens.com/answers/co/es/>

Sensores Pirómetros [en línea]. España: PCE, 2005 [Consultada Octubre 2008]. Disponible en internet: <http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/metros/pirometros.htm>

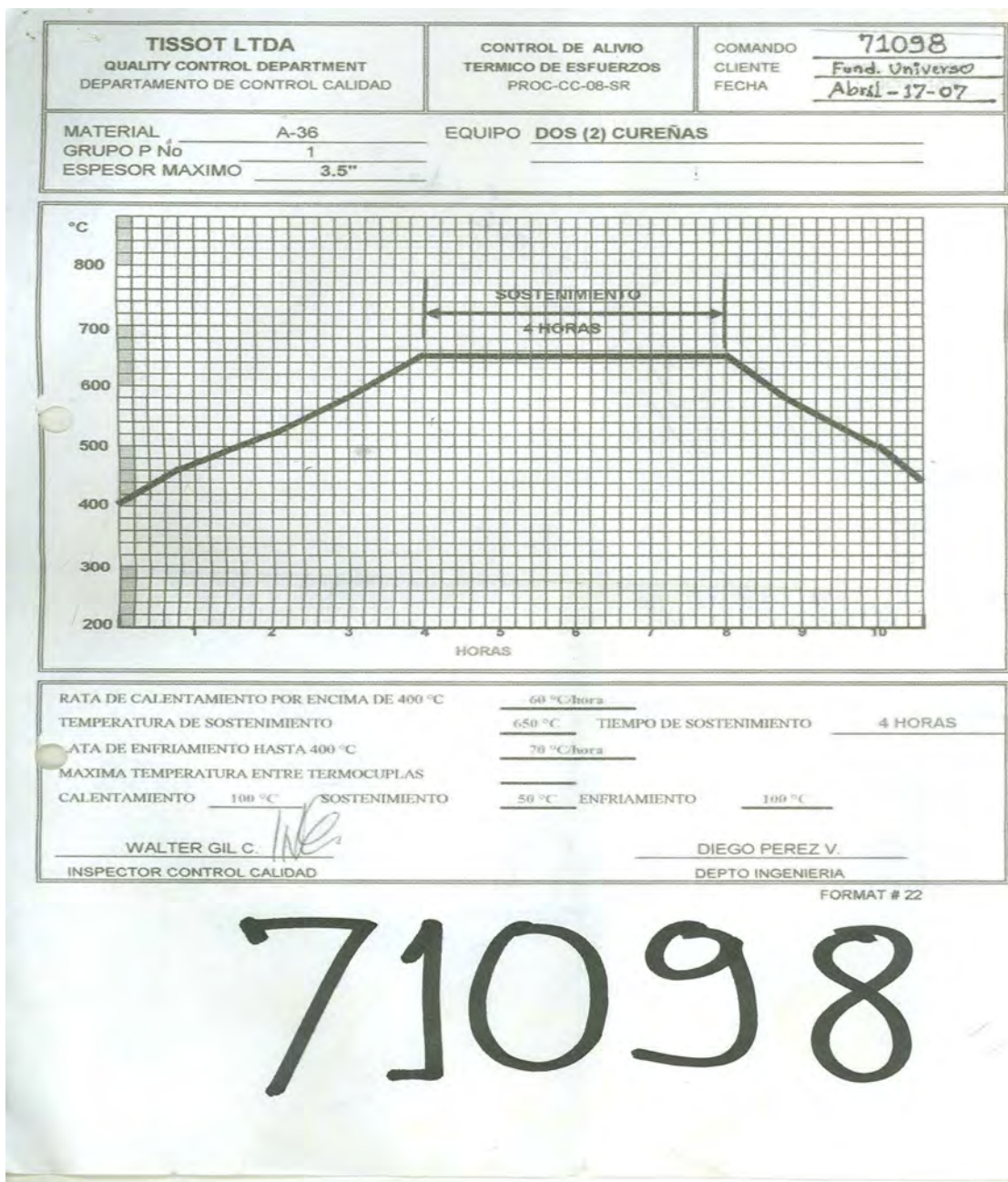
Setting the standard for automation [en línea]. Colombia: ISA, 2008 [Consultado Agosto 2008]. Disponible en internet: <http://www.isacolombia.org/>.

Standard for Spray Application Using Flammable or Combustible Materials [en línea]. USA: NFPA, 1995 [consultado Septiembre 2008]. Disponible en internet: http://www.mhsa.ab.ca/Spray_Application_Dec6,07.pdf

VILLANUEVA, Cesar y SOTO, Rogelio. Sistema de control difuso para nivel 1 de temperatura en hornos de recalentamiento en APM LCA. Monterrey: Tecnológico de monterrey 2002. 12 p.

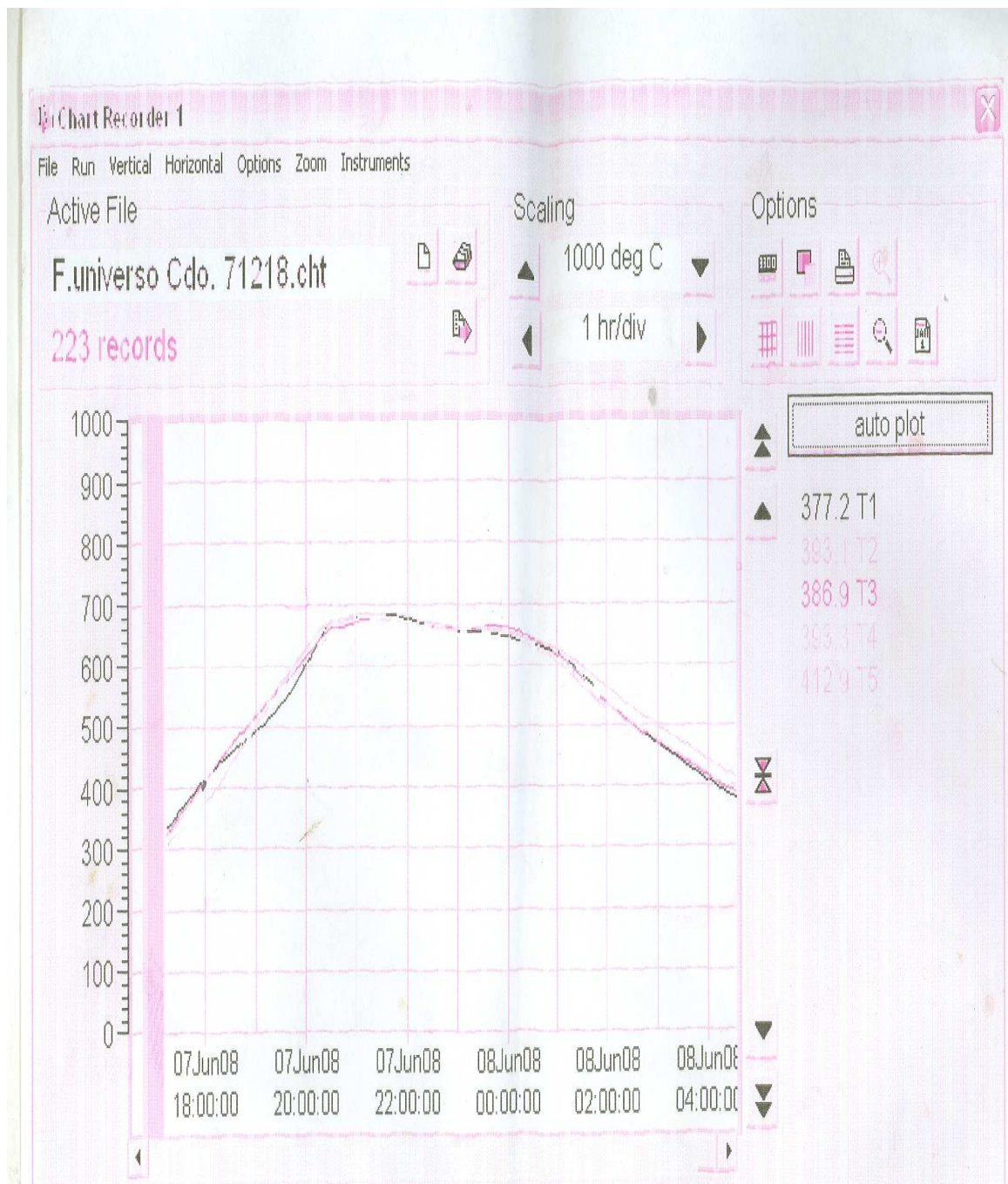
ANEXOS

Anexo A. Gráfica de sostenimiento para dos cureñas norma ASME



Fuente: Tissot LTDA. Santiago de Cali, 2008. 1 carpeta.

Anexo B. Gráfica de sostenimiento para dos cureñas norma ASME real



Fuente: Tissot LTDA. Santiago de Cali, 2008. 1 carpeta.

Anexo C. Tablas de poder calorifico de combustibles

Poder calorifico de combustibles gaseoso

Combustible	Densidad kg/m ³	PCI kJ/kg	PCS kJ/kg	Combustible	Densidad kg/m ³	PCI kJ/kg	PCS kJ/kg
Gas natural	(*)	39900	44000	Gas de agua	0'711	14000	16000
Gas de hulla	0'50		46900	Gas ciudad	0'650	26000	28000
Gas de coquería	0'56	31400	35250	Gas de agua carburado	0'776	26400	27200
Gas de aire	----	10000	12000	Propano	506 (l) 1'85 (g)	46350	50450
Hidrógeno	0'0899	120011	141853	Butano	580 (l) 2'4 (g)	45790	49675

Poder calorífico de combustible líquido

Combustible	PCI kJ/kg	PCS kJ/kg	Combustible	PCI kJ/kg	PCS kJ/kg
Aceite de esquistos	-----	38830	Fuel-oil nº1	40600	42695
Alcohol comercial	23860	26750	Fuel-oil nº2	39765	41860
Alquitrán de hulla	-----	37025	Gasóleo ¹⁾	42275	43115
Alquitrán de madera	36420	-----	Gasolina ²⁾	43950	46885
Etanol puro ⁴⁾	26790	29720	Petróleo bruto	40895	47970
Metanol ⁴⁾	19250	-----	Queroseno ³⁾	43400	46500



COMBUSTIBLE	PODER CALORIFICO BTU
barrel(42 gallons) of crude oil	5,800,000 Btu
1 gallon of gasoline	124,000 Btu
1 gallon of diesel fuel	139,000 Btu
1 gallon of heating oil	139,000 Btu
1 barrel of residual fuel oil	6,287,000 Btu
1 cubic foot of natural gas	1.031 Btu
1 gallon of propane	91,000 Btu
1 short ton of coal	20,754,000 Btu
1 kilowatthour of electricity	3,414 Btu

Fuente: CACHADIÑA GUTIERREZ, Isidro Poder calorifico de combustibles. España 2008 [consultado Julio de 2008]. Disponible en internet: <http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tablas-Tema-3.pdf>

Anexo D. Tabla de sensores de temperatura

Tipo de termómetro	Rango Nominal [°C]	Costo	Linealidad	Características Notables
Termómetro de mercurio	-10 a 300	Bajo	Buena	Simple, lento y de lectura manual.
Termorresistencia (Pt, Ni, etc.) RTD (Resistance Temperature Detectors)	-150 a 600	Medio	Alta	Exactitud
Termocupla	-150 a 1500	Bajo	Alta	Requiere referencia de temperatura.
Termistor	-15 a 115	Medio	No lineal	Muy sensible.
Integrado Lineal		Medio	Muy alta	Fácil conexión a sistemas de toma de datos.
Gas	-20 a 100	Medio	Buena	No muy versátil
Diodos	-200 a 50	Bajo	Alta	Bajo costo

Anexo E. Cotización de quemadores de COLMAQUINAS

		COLMAQUINAS SA NIT 860003981-4 OFICINAS Y ALMACEN CRA 1a N° 47-160 TEL 3909955-44770862-FAX 4494114 CALI E-mail: almacencali@colmaquinas.com.co Pagina Web: www.colmaquinas.com			
FECHA: octubre 15/2008				COTIZACION N°	
SEÑOR(ES): JERIMEN HERMANN				TELEFONO: 5542905 FAX 3146566850	
ATTE.					

ITEM	CANT.	UND.	ARTICULO	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
3	8	UND	MODUTROL M7284A1004	\$ 1.370.000	\$ 10.960.000
4	8	UND	QUEMADOR POWER FLAME J50A15	\$ 6.772.000	54.176.000,00
				SUBTOTAL	\$ 65.136.000
				IVA 16%	\$ 10.421.760
				TOTAL	\$ 75.557.760

FLETES POR SU CUENTA Y RIESGO
 ESPERAMOS SUS COMENTARIOS, SUGERENCIAS, QUEJAS O RECLAMOS EN EL CORREO ELECTRONICO
 servicioalcliente@colmaquinas.com.co


* IVA REGIMEN COMUN
 * NO SOMOS AUTORETENEDORES
 * SOMOS GRANDES CONTRIBUYENTES
 * ACTIVIDAD ECONOMICA 203 7.7 X 1000


IVA 16% CTA CTE # 006769999555 DAVIVIENDA

PAGO **A CONVENIR**

ENTREGA INMEDIATA

VALIDEZ DE LA OFERTA 10 DIAS AVILES


 ASESOR COMERCIAL
 JUAN FERNANDO OLANO


 ADMINISTRADOR
 LUIS E. CARDENAS

Cotizaciones de equipos COLMAQUINAS SA. Santiago de Cali, 2008. 1 carpeta.

Anexo F. Norma isa definiciones

- **Sistema de Control de Proceso Básico (BPCS):** (ISA –S84.01 P. 3.1.5) Es un sistema que responde a la entrada de señales desde el equipo que está bajo control y/o desde un operador y genera señales de salida que hacen que el equipo que está bajo control opere de una forma deseada. También se conoce como Sistema de Control de Proceso.
- **DCS:** (Sistema de Control Distribuido) Es un sistema de control donde los controladores inteligentes y hardware asociado de entradas y salidas controla diferentes partes del proceso y están interconectados entre sí por enlaces de comunicación.
- **Fuentes de Energía:** Se requiere una alimentación de energía firme para los controles, los elementos primarios y la interface del operador. Una fuente de energía firme es cualquier suministro de energía AC que no tenga interrupciones, o 2 fuentes independientes que suministren energía AC y que no sean susceptibles a la misma interrupción. Además, cada estación electrónica CRT del operador debería tener una fuente firme de energía. Como mínimo cada estación debería tener 1 fuente de energía adicional por cada DC bus. Los suministros de energía deberán estar apropiadamente conectados a tierra y acondicionados de acuerdo con las especificaciones del fabricante y los códigos aplicables.
- **Interface Hombre-Máquina:** La estación del operador debe tener al menos dos pantallas de video, cada una con su propio teclado y un set independiente de electrónicos, o una pantalla de video, teclado y un set de electrónicos con estaciones digitales o análogas independientes, conectadas directamente al rack de control como respaldo. Sin importar cuál alternativa sea usada, debe haber dos interfaces hombre-máquina independiente, para asegurar que el operador siempre tiene al menos un método de control.
- **PLC (Programmable Logic Controller - Controlador Lógico Programable):** es un dispositivo de control digital de primer nivel utilizado para operaciones secuenciales las cuales son configuradas usando una escalera lógica y puede tener capacidad de control limitada análoga o continua.
- **Sistema de Seguridad:** Interlocks, algoritmos, puntos de alarmas y otras características de los lazos críticos no deberían ser alterados intencionalmente o por error por personal no autorizado o por una falla del equipo.
- No es posible definir un procedimiento que garantice la seguridad total de un sistema de control moderno. La gran cantidad de hardware disponible junto con la flexibilidad del software no permite un juego de reglas únicas para todas las

instalaciones. Estas directrices hacen un intento, pero no define un procedimiento detallado.

- Cada instalación deberá ser seleccionada e instalada teniendo en cuenta la “Seguridad” como un criterio importante. Tanto el usuario, el que suministra el sistema, el consultor y el corredor de seguros, deberían contribuir a las decisiones que gobiernan la seguridad. El sistema de control deberá controlar y monitorear los lazos críticos (incluyendo los circuitos críticos de los motores) mientras que proporciona al operador una información dependiente y precisa. Las funciones directas de control para lazos críticos no deberán ser alteradas por el operador.
- Los cambios en la lógica deberían ser realizados sólo cuando lo autorice el Superintendente, después de revisar los cambios con el especialista de control de la planta. Se deberían establecer e implementar unos procedimientos de notificación para los operarios, el personal de mantenimiento y los supervisores para que se mantengan las operaciones seguras. Una prueba de funcionalidad deberá realizarse para verificar la operación apropiada del sistema.
- Forzar electrónicamente los contactos es lo mismo que puentear el cableado físico de los interlocks.
- La copia de respaldo (back ups) para el software es igual de importante que el respaldo (back up) para el hardware. Se deben proporcionar lugares separados para su almacenamiento.

• **Ambiente del Sistema de Control:** El hardware deberá instalarse en atmósferas que lleven a promover la larga duración de los componentes electrónicos y deberá ser consistente con las especificaciones del fabricante.

• **Mantenimiento Preventivo:** Se debería establecer un sistema de mantenimiento preventivo para todos los instrumentos asociados con la caldera de recuperación. Un programa debería inspeccionar las tareas, la frecuencia de inspección, y reportar los procedimientos necesarios para programar, hacer seguimiento y documentar los dispositivos de instrumentación individuales.

La documentación deberá incluir como mínimo la siguiente información:

Fecha de inspección, nombre de la persona que realizó la verificación o inspección, resultados de la inspección/verificación (diseño, las condiciones “cómo se encontró” y “cómo se dejó”) y comentarios del inspector sobre la integridad general del sistema inspeccionados, se debería usar un procedimiento para mantener, verificar y reparar un sistema.

• **Prueba Funcional:** Se requiere una prueba funcional de los sistemas de seguridad instrumentados para proporcionar a los dueños y operarios de las calderas de recuperación la confianza de que el sistema va a operar como está diseñado. Debería realizarse una prueba funcional con el alcance y perfil de frecuencia de las siguientes Buenas Prácticas: Procedimientos de Parada de Emergencia, el Quemado Seguro del Combustible Auxiliar, el Quemado Seguro del Licor Negro y la Oxidación Térmica de las Corrientes de Desecho. Se deberían

desarrollar planes de verificación de la lógica funcional para cada caldera, basados en los diagramas de bloqueo de interlocks de los permisos de arranque y disparos de las buenas prácticas recomendadas que se referenciaron anteriormente. Se debería hacer una prueba cada vez que se ha realizado una modificación o un trabajo en un sistema de seguridad instrumentado que pueda afectar razonablemente su integridad. Todas las pruebas deberían estar documentadas, con fecha y con registros detallados guardados en un archivo.

Las pruebas funcionales deberían verificar que los dispositivos de campo de los sistemas de seguridad, cableado, hardware y la lógica están en condiciones sensatas (por ejemplo, sin jumpers, puentes o forzados, sin líneas sensoras bloqueadas, sin actuadores dañados, sin instrumentos averiados, sin cables quemados o corroídos, sin cambios inapropiados del software o sin la adecuada documentación de advertencia, etc.).

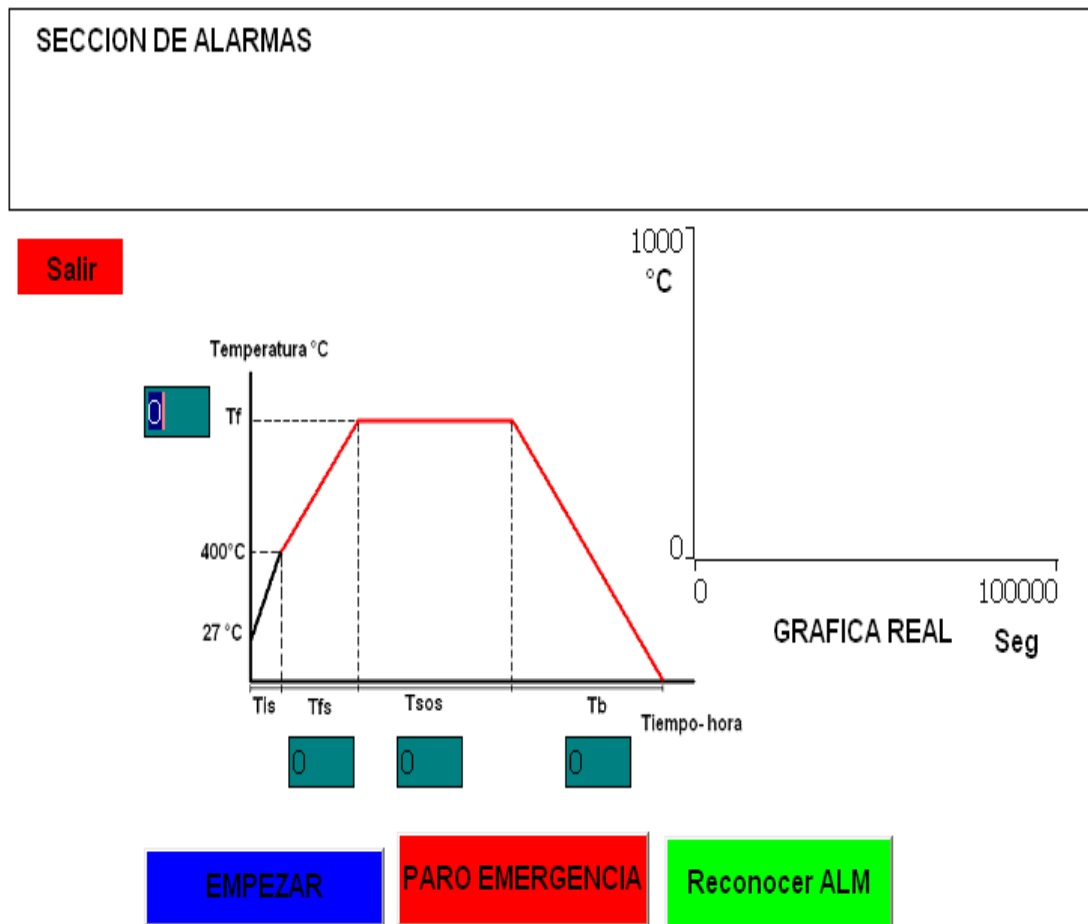
Una prueba “completa” de disparo/interlock incorpora una señal de verificación de la línea sensora (o dispositivo de iniciador para disparos manuales) a través de toda la lógica y los circuitos asociados, e incluye la actuación de los elementos finales (válvulas, bombas, damper, etc.) que están enclavados o interlockeados (interlocked). Esto debería simular las condiciones actuales que están siendo monitoreadas en las líneas sensoras, de la manera más segura posible.

Nota: Siempre y cuando se realice un una prueba completo de una salida (output) común (por ejemplo MFT), es aceptable que se realice una prueba de las condiciones restantes de disparos individuales, sólo para esa salida (output) común.

El momento más factible para realizar estas pruebas es cuando la caldera arranca después de una parada, y es perfectamente aceptable realizar estas pruebas a lo largo del año cuando sea posible. Esto sería aplicable para los sistemas de combustible auxiliar, las corrientes de desecho y otros que posiblemente dependan de los arreglos de operativos de la unidad. Cualquier disparo no programado que ocurra durante el arranque o la operación de la caldera, puede aplicar para hacer la verificación de ese disparo o permisividad particular, siempre y cuando el evento esté adecuadamente documentado y que el primer sistema que salió de funcionamiento proporcione la fuente del disparo.

Anexo G. MANUAL HMI

MANUAL DEL MANEJO DE LA INTERFAZ GRAFICA DEL PROCESO DE ALIVIO TERMICO DE LA EMPRESA TISSOT LTDA.

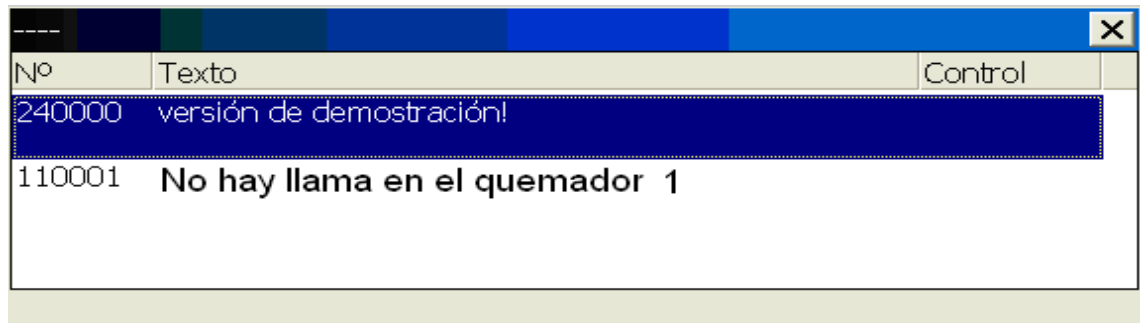


GRAFICA HMI

- **DESCRIPCION DEL HMI** al ejecutar el programa lo primero que se va a visualizar es una pantalla que visualizara la grafica HMI. La descripcion de cada variable se encuentra en la siguiente tabla donde se describe la funcion de cada variable, su valor inicial y los rangos de trabajo de dichas variable.

Nombre	Valores marginales	Valor inicial	Descripción
Tf= temperatura final	400< Tf <1000 °C	27 °C	Temperatura a la cual se mantiene la pieza durante un determinado tiempo y temperatura máxima a la que estará expuesta la pieza
Ts= Tiempo final de subida	2<= Ts <=10	2 Horas	Tiempo de acenso dado por el usuario según las normas ASME este tiempo es dado en horas
Tsos = Tiempo de sostenimiento	2<= Ts <=10	2 Horas	Tiempo en el cual se sostendrá la temperatura máxima (Tf) a la que será sometida la pieza
Tb = Tiempo de Bajada	2<= Ts <=10	2 Horas	Tiempo de descenso, tiempo que debe transcurrir para que la pieza llegue a temperatura ambiente
EMPEZAR	0 ó 1	0	botón para ejecutar el control del sistema (clicar sobre el y cambia de color verde(1) y Azul (0))
Paro de emergencia	0 ó 1	0	botón para ejecutar el control del sistema este botón se mantendrá en Rojo
Reconocer ALM	0 ó 1	0	Botón Para ejecutar el reconocimiento de alarma en caso de dispararse alguna de las alarmas, se usa generalmente para analizar si ya fue arreglada la alarma y si se puede seguir operando, este botón se mantendrá en Verde.
Grafica Real	Grafica real del comportamiento del sistema		
Zona de alarma	Alarma	Mensaje	Acción a emplear
	Alarma por no tener llama el Quemador	“No hay llama en el quemador #”	Apaga el quemador durante 30 seg. Luego el sistema de control volverá a prender dicho quemador
	Temperatura por encima del 10% máximo de la temperatura final	“Temperatura sobrepaso limite”	Apaga los quemadores hasta que la temperatura este menor o igual a la

			temperatura final
	Datos por debajo o encima de los valores marginales	“dato “nombre” no esta en los valores marginales”	Vuelve a pedir el valor hasta que este concuerde con los valores preestablecidos
Salir	Botón encargado de cerrar la aplicación		



Nº	Texto	Control
240000	versión de demostración!	
110001	No hay llama en el quemador 1	

GRAFICA DE ALARMAS

En la Zona de alarmas, se desplegara un recuadro el cual aparecera sobre la zona denotada (Zona de alarmas en el HMI principal) mostrando la alarma que se genero debido a un fallo sobre el sistema, aunque el sistema de control viene diseñado de tal forma que este haga una accion para areglar la alarma, es necesario que el operador pueda ver dicha alarma y en caso de continuar apagar el sistema y evaluar la respetiva accion a corregir.

• PROCESO PARA INICIAR LA QUEMA

- Ingresar datos de Tf, Ts, Tsos, Tb con los cuales se generara la grafica de referencia en el dispositivo de control.
- Darle click sobre el boton EMPEZAR, con el cual verificaremos si los valores estan dentro del rango de no ser asi, aparecera una alarma, de lo contrario empezara la quema
- El programa se encargara de realizar el control completo hasta que la quema termine satisfactoriamente y apague el sistema.
- Terminado el sistema dar en el boton salir y terminara la aplicación

Anexo H. Flujo de fondos (Archivo adjunto en la carpeta de anexos)

Anexo I. Manual de comunicación del cal 3300 (Archivo adjunto en la carpeta de anexos)

ANEXO C Concepto

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
COSTOS DE DESARROLLO							
DISEÑO							
MANO DE OBRA	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000
SOFTWARE	5.000.000						
COSTO DE ELEMENTOS DE CONSUMO	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000
Subtotal (-)	8.200.000	3.200.000	3.200.000	3.200.000	3.200.000	3.200.000	3.200.000
Costo de montaje							
MANO DE OBRA							
MATERIALES							
Subtotal (-)							
Ganancias							
PRECIO DE VENTA UNITARIO							
COSTO DE QUEMA							
CANTIDAD DE QUEMAS AL MES							
Subtotal (+)							
Total	8.200.000	3.200.000	3.200.000	3.200.000	3.200.000	87.369.448	3.200.000

	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
Fuente Sitop 2A Entrada 120/230 Vac; Salida 24	355.973	1	355.973
CPU226, Fuente 24 Vdc, 24DI 24 Vdc, 16DO 24 Vdc, Mem 16/24KB, 2 Port MPI/PPI,7 Mod Máx	\$ 1.651.455	1	1651455
Cable PPI	\$ 300.000	2	600000
MODUTRON M728A1004	1.370.000	8	10960000
QUEMADOR POWQER FLAME	6.772.000	8	54176000
CARCASA PLC	100.000	1	100000
controlador de llama y encendido	300.000	16	4800000
borneras	500	50	25000
Cables/metro	2.000	100	200000
SUBTOTAL			67.387.455
IVA 16%			10781992,8
TOTAL			78.169.448

M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15

6.000.000	6.000.000	6.000.000	6.000.000
78.169.448			
84.169.448	6.000.000	6.000.000	6.000.000

				11.000.000	11.000.000	11.000.000	11.000.000
				5.000.000	5.000.000	5.000.000	5.000.000
				2	2	2	2
				12.000.000	12.000.000	12.000.000	12.000.000
84.169.448	6.000.000	6.000.000	6.000.000	-90.169.448	-78.169.448	-66.169.448	-54.169.448

M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

11.000.000	11.000.000	11.000.000	11.000.000	11.000.000	11.000.000	11.000.000	11.000.000
5.000.000	5.000.000	5.000.000	5.000.000	5.000.000	5.000.000	5.000.000	5.000.000
2	2	2	2	2	2	2	2
12.000.000	12.000.000	12.000.000	12.000.000	12.000.000	12.000.000	12.000.000	12.000.000
-42.169.448	-30.169.448	-18.169.448	-6.169.448	5.830.552	17.830.552	29.830.552	41.830.552

M24	M25	M26	M27	M28	M29
-----	-----	-----	-----	-----	-----

11.000.000	11.000.000	11.000.000	11.000.000	11.000.000	11.000.000
5.000.000	5.000.000	5.000.000	5.000.000	5.000.000	5.000.000
2	2	2	2	2	2
12.000.000	12.000.000	12.000.000	12.000.000	12.000.000	12.000.000
53.830.552	65.830.552	77.830.552	89.830.552	101.830.552	113.830.552

M30	M31	M32	M33	M34	M35	M36
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

11.000.000	11.000.000	11.000.000	11.000.000	11.000.000	11.000.000	11.000.000
5.000.000	5.000.000	5.000.000	5.000.000	5.000.000	5.000.000	5.000.000
2	2	2	2	2	2	2
12.000.000	12.000.000	12.000.000	12.000.000	12.000.000	12.000.000	12.000.000
125.830.552	137.830.552	149.830.552	161.830.552	173.830.552	185.830.552	197.830.552

CAL 3300/9300/9400/9500(P)
MODBUS RTU
COMMUNICATIONS GUIDE

7th September 2000

ISSUE 1.10

Doc:33034 Iss:002

DESCRIPTION

This document describes the interaction between a CAL Controller with the communications option fitted and a PC/PLC attached to the bus and acting in a command mode.

There are fundamental limitations placed on the interactions. These arise from the intrinsic properties of the CAL controllers, with just three control buttons and a multi-level menu with increment or decrement value change process.

The standalone CAL controllers currently perform a verification on each change to ensure that illegal values (e.g. ones outside the limit range for a particular thermocouple, etc.) are not accepted. The PC application needs to replicate the verification checks that the CAL controllers would perform before transmitting the new data out over the bus to the instrument. The CAL controllers assume that the values they receive have been checked against limits and are valid - no further verification is carried out. Upon receipt of the new values and an exit program mode sequence the CAL controllers write the new values to memory and then restart.

©_ Copyright Cal Controls Ltd 1999. All rights strictly reserved. No part of this documentation shall be reproduced, stored in a retrieval system, or copied in any form, without prior written permission from Cal Controls Ltd. Every effort has been taken to ensure the accuracy of this specification. However due to our policy of continuous development to improve our products, this could without notice, result in amendments or omissions to this document. Neither is any liability assumed for damage, injury, loss, or expenses resulting from the use of this document.

1. MEMORY MAP OF PARAMETERS

WARNING:- As with any computer system writing to any unauthorised memory address will inevitably cause malfunction and may put the instrument in an indeterminate or dangerous state. It is the users responsibility to ensure correct use.

The instruments uses a 8051 type processor. This has two types of RAM: the internal 256 bytes and the external 256 bytes, data is also stored in EEPROM (non-volatile ram). Each data area requires a different access method internally.

Data can be accessed as either one byte or a two byte word - the word need not necessarily lie on an even address boundary. To simplify ModBus messages the unit decodes the MSB of the ModBus address to select which type of memory to access - thus all memory looks the same to the end user. Decoding is as follows:

bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
always 0	always 0	always 0	1=security	always 0	1=NVram	1=external	1=one byte

so that the following addresses specify the given memory areas:

- 00xxH references internal memory - two bytes wide
- 01xxH references internal memory - one byte wide
- 02xxH references external memory - two bytes wide
- 03xxH references external memory - one byte wide
- 04xxH references NV memory - two bytes wide
- 05xxH references NV memory - one byte wide

note that messages with both bits 1 and 2 set are misleading and should not occur, however, they will be interpreted as if bit 2 was 0. Bit 4 is used to indicate reserved messages - see the section *Security Messages* below.

Two types of bit value may exist:

- those which can be set and cleared as a single operation (i.e. directly addressable) are defined as type *bit*.
- those which must be set or cleared by reading a byte, masking the bit, then writing the byte.

Bit addresses are represented by both the absolute hex address and also by bit number (in decimal) if the bit is directly addressable. Note that, in this document, the bit number is one based (1..128) which matches the usual representation of ModBus.

The byte and word addresses given are the absolute HEX locations in the instrument. Depending on the type of ModBus driver being used, these may need to be converted to a decimal address, plus 1, since some ModBus drivers subtract 1 from the address given. Thus to access the Baud Rate (03D6) a ModBus driver would need decimal address 983 (982 + 1).

Shaded sections denote contiguous address space which may be read and written as multiple registers if the remote software can handle this. **NOTE that due to space limitations the current implementation does not allow multiple address access - only one word can be accessed per message.**

To facilitate easy reading, the following tables are listed in address order, not the order on the menus.

Extreme care must be taken to write only to those locations indicated. Writing to any other locations WILL corrupt the instrument, but the effects may not necessarily be immediately noticed.

1.1 Internal data formats

The instrument stores data in a variety of ways to allow a full range of values to be held in the minimum space possible. Most are represented by a multiple of the displayed value - this is given as a *scale factor* in the table below: for instance, temperatures are stored in 10ths of a degree, so a displayed value of 123.4 degrees is stored as 1234 - this is shown in the tables as *temp * 10*. Some time values are stored in 40ms units so a time of 1 second would be stored as 25. A few parameters - mainly the times - have different scale factors and offsets depending on their current value - these are detailed individually.

Parameters are incremented/decremented by fixed step sizes depending on their current value within limits which may change depending on the current value of other parameters. Many parameters increment and decrement in the same manner - this is referred to in the tables as **normal inc/dec** - in these cases parameters move in 0.1 steps between —9.9 and 9.9, otherwise in steps of 1. Note that when incrementing or decrementing, the internal storage format must be taken into account and also whether the display is in hi-res mode - values sent to the instrument must match the current mode.

Note also that in the 9500 instrument parameters marked with **[LIN]** are stored in degrees*10 when the selected input is a thermocouple or RTD and units of 1 when the selected input is linear. Also note that while linear input is selected the display of values on the instrument is effected by the setting in DECP not Disp.

The instrument provides no error checking on values transmitted to it - the user **must** ensure that new values are checked for consistency before uploading.

1.2 Variables not on menu structure

Parameter Name	Size	Address (hex)	R/W	ModBus Function read/write	Internal Storage, Step rate in Internal units	Comments
SP1	2	007F	RW	3/6	Degrees * 10 [LIN] step 1 from LoSc to HiSc	The setpoint required. See 1.2.1 below regarding initialising a new instrument
Setpoint safety check	1	0125	RW	3/6		see note 1.2.1 below for correct usage of this byte
Temperature	2	001C	R	3/6	Degrees * 10 [LIN]	stored as 10ths of deg C
security byte	1	0300	W	6	no scaling	see 2.3 for security messages
Ramp Byte	1	0305	R	3	no scaling	see 1.2.2 below for bit meanings
Display Byte	1	0306	R	3	no scaling	see 1.2.3 below for interpretation
Display State	2	0205	R	3	no scaling	a word read enables Ramp byte and Display Byte to be read with a single message
Model (Type of inst and output configuration)	2	04FC	R	3	0X01 33/9300 RLY / SSD 0X02 33/9300 SSD / SSD 0X03 33/9300 RLY / RLY 0X07 9400 RLY / SSD 0X08 9400 SSD / SSD 0X09 9400 RLY / RLY 0x10 9500 SSD / RLY / RLY 0x11 9500 SSD / SSD / RLY 0x12 9500 RLY / RLY / RLY 0x13 9500 ANLG / RLY / RLY 0x14 9500 ANLG / SSD / RLY	Type of instrument and output configuration are determined by the hardware, but can be read from the address 04FC

The *Ramp* and *Display* bytes have been kept together so that a single word read at address 0x0205 can be used to obtain full information about the state of the instrument display.

1.2.1 Initialising the Setpoint

The instrument is provided with a safety lock to prevent it from controlling until the setpoint has been set. This lock is automatically released the first time that the setpoint is changed from the instrument front panel. If it is required to initialise a new instrument (or after the parameters have been reset), this lock may be released remotely by performing the following sequence:

```
tempbyte = (read byte at ModBus address 0125 hex)
tempbyte = tempbyte OR 0x02 {i.e. set bit 1}
(write tempbyte back to ModBus address 0125 hex)
```

Note that this sequence is only required to unlock the instrument from its reset state - it is not necessary to perform this sequence each time the setpoint is changed. The other bits within this byte are used internally and **must not be modified**.

1.2.2 Ramp Byte

The *Ramp Byte* holds bits which show what stage of a ramp/soak sequence is currently active:

- bit 1 set = in ramp phase, display periodically flashing SP
- bit 2 set = in soak phase, display periodically flashing Soak
- bit 3 set = sequence finished, control dormant, display flashes Stop
- bit 6 set = Holdback LED on front display lit (**9500P only**)

note that these bits are mutually exclusive (except the holdback bit), and the flashing display is of lower priority than the displays recorded by the *Display Byte*. If no bit is set, the instrument is not in a ramp/soak sequence. If the unit has finished a ramp but no soak time is specified (SOAK= - -) bit 2 will remain set.

The other bits in the *Ramp Byte* are used internally by the instrument. **The *Ramp Byte* must not be written to - unpredictable and possibly dangerous instrument behaviour will result.**

1.2.3 Display Byte

The *Display Byte* records the message currently being shown on the instrument display, and also mirrors the state of the SP LED s - note that although these may be read by a remote program, their values may change rapidly in real time. Due to the time lag in processing communications messages it may not be possible to exactly mimic the display on a remote screen - particularly for short cycle times.

The hi nibble conveys the following meanings:

- Bit 7 set = SP2 LED lit
- Bit 6 set = SP1 LED lit
- Bit 5 set = add FAIL display to other indications
- Bit 4 set = SP3 LED lit (**9500 only**)

The low nibble of the Display Byte indicates the current alternating message being displayed, thus **after the top 2 bits are masked off**, the following values indicate the display message:

```
0x01 = PARK / temp
0x02 = -AL- / temp
0x03 = TUNE / temp
0x23 = TUNE / FAIL
0x04 = TUNE / ATSP / temp
0x05 = HAND / heat power ratio
0x25 = HAND / FAIL
0x26 = INPT / FAIL
0x27 = DATA / FAIL
```

These messages take display precedence over any others. If one of the *Display Byte* messages is indicated, the remote program must ignore the state of the *Ramp Byte*.

1.3 Level C - parameters in address order

Parameter Name	Size	Address (hex)	R/W	ModBus Function read/write	Internal Storage, Step rate in Internal units	Comments
Addr	1	03D5	RW	3/6	0..255	valid range 1..247
Baud	1	03D6	RW	3/6	0=1200, 1=2400, 2=4800, 3=9600, 4=19200	
Data	1	03D7	RW	3/6	0=18n1, 2=18e1, 3=18o1,	
Dbg	1	03D8	RW	3/6	0=off, 1=on	

note that all changes to the communications level parameters take effect immediately on leaving the menu, or on receipt of the *exit program mode* command. The *dbg* feature may be set on or off. When on, the right-most digit will flash 3 horizontal segments on receipt of a character when a communications board is fitted, the left-most digit will flash on transmission of a character.

1.4 Level 1 - parameters in address order

Parameter Name	Size	Address (hex)	R/W	ModBus Function read/write	Internal Storage, Step rate in Internal units, Limits	Comments
Set.2	2	0081	RW	3/6	Degrees * 10 [LIN] Step 0.1 or 1 depending on disp selection min=LoSc, max=HiSc	
Ofst	2	0083	RW	3/6	Degrees * 10 [LIN] normal inc/dec see separate details for limits	
Band	2	0085	RW	3/6	Degrees * 10 [LIN] normal inc/dec min=0.1 max=25% of Sensor Maximum	9500 max is 100% of sensor maximum
Bnd.2	2	0087	RW	3/6	Degrees * 10 [LIN] normal inc/dec see separate details for limits	
Tune	1	0189	RW	3/6	0=off, 1=on, 2=park, 3=at Setpoint	
Dac	1	018A	RW	3/6	stored as value*2 so 0.5 is stored as 1 step by 0.5 Min=0.5 max=5.0	
Int.t	1	018B	RW	3/6	intt * 10 up 10.0, then intt+90 normal inc/dec 0=off min=0.1, max=60	
Der.t	1	018C	RW	3/6	1 — 200 in 1 sec steps	
Cyc.t	1	018D	RW	3/6	Cyct * 10 up 10.0, then Cyct+90 normal inc/dec 0=off min=0.1, max=81	
Cyc.2	1	018E	RW	3/6	Cyc2 * 10 up 10.0, then Cyc2+90 normal inc/dec 0=off min=0.1, max=81	
SP.lk	bit	0028	RW	1/5	0=off, 1=on	
SPrr	2	02D0	RW	3/6	Stored as SPrr if <100 step by 1, if <1000 step by 5 else step by 10 min=0 max=9990	9500 display effected by DECP when LIN input selected
Soak	2	02D2	RW	3/6	0xFF00 = --, 0=off, otherwise Soak * 10 Step by 1 up to 120, then 5 up to 300 then by 10 min = 1, max=1440	
SPrn	1	03D4	RW	3/6	0=off, 1=on, 2=hold	9500P See Level P section for notes on starting a program

1.5 Level 2 - parameters in address order

Parameter Name	Size	Address (hex)	R/W	ModBus Function read/write	Internal Storage, Step rate in Internal units, Limits	Comments
SP1.P						
SP1_ontime	2	0062	R	3	not stored	must be computed as SP1_ontime/SP1_proptime *100%
SP1_proptime	2	0078	R	3		
Disp	bit	002A	RW	1/5	0=low res, 1= high res	
Hand	1	018F	RW	3/6	No scaling step by 1 min 0=off, max=100	
PL.1	1	0190	RW	3/6	No scaling step by 1 min=0, max=100	
PL.2	1	0191	RW	3/6	No scaling step by 1 min=0, max=100	
SP2.A	1	0192	RW	3/6	0=none, 1=dvhi, 2=dvlo, 3=band, 4=fshi, 5=fslo, 6=cool	9500P 7=EOP
SP2.b	1	0193	RW	3/6	0=none, 1=lth, 2=hold, 3=ltho, 4=nlin	
Hi.SC	2	0094	RW	3/6	HiSc * 10 [LIN] step by 0.1 or 1 min=Sensor Min, max=Sensor Max	
Lo.SC	2	0096	RW	3/6	LoSc * 10 [LIN] step by 0.1 or 1 min=Sensor Min, max=Sensor Max	
Inpt	1	0198	RW	3/6	0=none, 1=Tcb, 2=Tce, 3=Tcj, 4=Tck, 5=Tcl, 6= Tcn, 7=TcR, 8=Tcs, 9=Tct, 10=RTD, 11=lin1 12=lin2, 13=lin3, 14=lin4, 15=lin5	9500 11=lin 12-15 unused
Unit	1	0199	RW	3/6	0=none, 1=C, 2=F, 3=bar, 4=PSI, 5=Ph, 6=Rh, 7=set	

1.6 Level 3 - parameters in address order

Parameter Name	Size	Address (hex)	R/W	ModBus Function read/write	Internal Storage, Step rate in Internal units, Limits	Comments
SP1.d	1	019D	R	3/6	0=none, 1=rly, 2=ssd, 3=rly1, 4=rly2 5=ssd1(ssd2)	9500 0=none 1,3,4,10=ssd 2,5,6,8=rly 7,9=anlg
SP2.d	N/A	N/A	N/A	N/A	Not stored	Inverse of SP1.d
Burn	1	019E	RW	3/6	0=upsc, 1=dnsc, 2=1u2d, 3=1d2u	
Rev.d	1	019F	RW	3/6	0=1r2d, 1=1d2d, 2=1r2r, 3=1d2r	
Rev.l	1	01A0	RW	3/6	0=1n2n, 2=1l2n, 3=1n2l, 4=1l2l	
Span	2	00A1	RW	3/6	Span * 10 [LIN] normal inc/dec min = -0.25 * Sensor Min max = 0.25 * Sensor Max	
Zero	2	00A3	RW	3/6	Zero * 10 [LIN] normal inc/dec min = -0.25 * Sensor Min max = 0.25 * Sensor Max	
Chek	bit	0026	RW	1/5	0=off, 1=on	
Read (var)	2					computed from 2 vars (below) Read(hi) - Read(lo) with degC to decF if required (if unit=1)
Read (hi)	2	007A	R	3	Read(hi) * 10 [LIN]	
Read (lo)	2	007C	R	3	Read(lo) * 10 [LIN]	
Data (Ct A)	2	0432	R	3	CtA * 25	
Data (Ct B)	2	0434	R	3	CtB * 25	
Data (Ct 1)	2	0436	R	3	Ct1 * 25	
Data (Ct 2)	2	0438	R	3	Ct2 * 25	
Data (Ct 3)	2	043A	R	3	Ct3 * 25	
Data (Ct 4)	2	043C	R	3	Ct4 * 25	
Data (Os 1)	2	043E	R	3	Os1 * 10 [LIN]	
Data (us)	2	0440	R	3	Us * 10 [LIN]	
Data (Os 2)	2	0442	R	3	Os2 * 10 [LIN]	
Ver (S/W ver)	2	04FD	R	3	0xFFFF/ 0x01 means ver 391 0x02 means ver 392 0x03 means ver 941 0x04 means ver 951 0X05 means ver 952	3300/9300 ver 1 3300/9300 ver2 9400 ver 1 9500 ver 1 9500 P ver 2
Rset	bit	0027	RW	1/5	0=none, 1=all	

1.7 Level 4 - parameters in address order

Parameter Name	Size	Address (hex)	R/W	ModBus Function read/write	Internal Storage, Step rate in Internal units, Limits	Comments
Der.S	1	019A	RW	3/6	Ders * 10	
Dis.S	1	019B	RW	3/6	0=dir, then 1..32 step by 1 min=0, max=32	
Lock	1	019C	RW	3/6	0 = none, 1=lev3, 2=lev2, 3=all	
Prog	bit	002D		1/5	0 = auto, 1=stay	
No.Al	bit	002E	RW	1/5	0 = off, 1=on	

1.8 Level A – parameters in address order (9500 only)

Parameter Name	Size	Address (hex)	R/W	ModBus Function read/write	Internal Storage, Step rate in Internal units, Limits	Comments
An.Hi	2	02D9	RW	3/6	AnHi Step=1 min=-1999, max=9999	
An.Lo	2	02DB	RW	3/6	AnLo Step=1 min=-1999, max=9999	
Hi.In	2	02DD	RW	3/6	HiIn * 10 step=0.1 min=0.1, max 50.0	HiIn must always be 0.1 above the LoIn setting
Lo.In	2	02DF	RW	3/6	LoIn * 10 step=0.1 min=0.0, max 49.9	
DECP	1	03E1	RW	3/6	0=0000, 1=000.0, 2=00.00	Decp over-rides the Disp setting in level 2 while linear input selected
SP3.A	1	03E2	RW	3/6	0=none, 1=dvhi, 2=dvlo, 3=band, 4=fshi, 5=fslo	9500P 7=EOP
SP3.B	1	03E3	RW	3/6	0=none, 1=lth, 2=hold, 3=ltho	
Brn.3	1	03E4	RW	3/6	0=upsc, 1=dnsc	
Rev.3	1	03E5	RW	3/6	0=3d, 1=3r	
Set.3	2	02E8	RW	3/6	Degrees * 10 [LIN] step=0.1 min=0.0, max=2500	When LIN sensor selected max=9999
Hys.3	2	02EA	RW	3/6	Hys3 * 10 [LIN] step=0.1 min=0.1, max=100% of HiSc	

Note: The level A menu is only available in the 9500 instrument.

1.9 Level P – parameters in address order (9500P only)

Parameter Name	Size	Address (hex)	R/W	ModBus Function read/write	Internal Storage, Step rate in Internal units, Limits	Comments
MaxProg	1	033A	R	3	Maximum Program Number	Generated by the instrument, do not write to this location.
Prog	1	036C	RW	3/6	Program Number min=1, max=MaxProg	To start a program write the number of the program to run and then set the value of Sprn(Level 1) to ON or HOLD Note: the program will not start until after the exit program mode

Note: The level P menu is only available in the 9500P instrument.

Note: The other elements of the programmer (Level P) menu are unavailable from the communications interface.

2. ACTIONS REQUIRED TO COMMUNICATE WITH THE INSTRUMENTS

These versions of the instruments have ModBus functions codes 1,3,5,6 and 16 implemented. Note that although function code 16 (write multiple registers) is recognised, this cannot deal with more than a single 2 byte register write and will return an error if more registers are attempted. There is no facility to read multiple registers, nor to read or write multiple bits.

2.1 Notes

- Un-implemented function codes do not yet return error code 01.
- Function code 15 (read multiple registers) is not implemented.

2.2 Implementation restrictions

A number of restrictions are made :

- Multiple register reads are not implemented, since the opportunity to use them is very limited and there is not sufficient memory to buffer long messages.
- Multiple bit reads and writes are not implemented, since we do not have any consecutive bits available to the user.

2.3 Security Messages

To allow communications to safely manipulate the instrument a number of security messages have been implemented. CAL Controls see these as important safety features, which offer a number of advantages, especially when configuring a safety critical application.

The messages to enter program mode only have to be sent once to access the Internal parameters of the instrument and then any number of adjustments can be made. The advantage this offers is that sending the enter program mode message, causes the push buttons on the instrument to be locked out. This feature prevents potentially dangerous conditions arising from simultaneous adjustment of the instrument locally whilst adjustments are being sent over the communications link.

The messages to exit program mode causes the instrument to write back any internal parameter changes to the NVram, and then use these settings. This means that any changes made will not take effect until the instrument has received the exit program mode message. The advantage this offers is that all adjustments take place at the same time. If for instance you are configuring alarm functions you will not get false alarms due to setting the alarm mode before a valid alarm set point has been programmed, also all PID terms are implemented together, whereas separate adjustment of PID functions may cause greater control instability.

To prevent inadvertent changes a *security byte* must be set immediately before any security message is transmitted - this byte is automatically reset after each message.

Each security message is numbered 1 to 6, this number must be set into the *security byte* immediately prior to the message, if the *security byte* does not match the security message number, the message will be ignored and no response will be issued. Messages 1 to 4 are implemented but currently have no direct use.

Note: The 9500 does not require the security byte messages to be sent to enter and exit program mode, the messages not required are noted below.

The correct sequence to set new parameters into the instrument is as follows:

1. Write the *security byte* with value 5 (**9500 — Not Required**)
2. Send message number 5 (enter program mode)
3. Send messages as required to change desired parameters
4. Write the *security byte* with value 6 (**9500 — Not Required**)
5. Send message number 6 (exit program mode)

It is possible to write to parameters without using this sequence, but the unit will simply hold new values in the menu structure, and will not apply the new values to the process control variables. However, if new parameters are uploaded and then the menu entered from the front panel, any uploaded parameters will be effective on leaving the menu. When using communications **the *enter program mode / exit program mode* message sequence must be sent to cause any new values to be applied to the controller.**

2.3.1 Enter Program Mode

Byte No	Meaning	Value
1	Slave address	xx
2	ModBus Function code (write register)	06
3	Security message function marker (1=security, 5=function 5)	15
4	not used (any value may be sent)	xx
5	not used (any value may be sent)	xx
6	not used (any value may be sent)	xx
7	CRC lo byte	??
8	CRC hi byte	??

The *security byte* must be set to 5 prior to this message (**not required for 9500**). If the instrument is successfully set into *remote program mode*, and the keyboard is successfully locked, the response will be the same as the message. If the instrument is currently in manual menu entry mode, an error response code 6 (device busy) will be returned. This command may be repeated while already in *remote program mode* with no ill effect.

2.3.2 Exit Program Mode

Byte No	Meaning	Value
1	Slave address	xx
2	ModBus Function code (write register)	06
3	Security message function marker (1=security, 6=function 6)	16
4	not used (any value may be sent)	xx
5	not used (any value may be sent)	xx
6	not used (any value may be sent)	xx
7	CRC lo byte	??
8	CRC hi byte	??

The *security byte* must be set to 6 prior to this message (**not required for 9500**). The response will be the same as the message if the instrument is currently in *remote program mode*, and a restart will be initiated, otherwise an error response code 1 (illegal function) will be returned.

2.4 ModBus Message Construction.

The following message function codes are implemented in the instrument. Where a value of xx is shown, substitute the correct value for your installation and the data item required. All CRCs are shown as ?? since must be automatically generated according to the data contained in the message.

2.4.1 Read Coil Status (single bit read)

Byte No	Meaning	Value (hex)
1	Slave address	xx
2	ModBus Function code (read coil status)	01
3	Starting Address MSB, always	00
4	Starting Address LSB	xx
5	No of points MSB	00
6	No of points LSB	01
7	CRC lo byte	??
8	CRC hi byte	??

Note that in this implementation, only one bit may be read per message, so the number of points should always be set to 1, but in fact this value is ignored anyway. If the address is not a valid readable bit, an error response code 2 (invalid address) is returned, otherwise the following response is sent:

Byte No	Meaning	Value (hex)
1	Slave address	xx
2	ModBus Function code (read coil status)	01
3	Byte count	01
4	Bit value (01 if bit is set, 00 if not)	00 or 01
5	CRC lo byte	??
6	CRC hi byte	??

2.4.2 Read Holding Registers

Byte No	Meaning	Value (hex)
1	Slave address	xx
2	ModBus Function code (read holding register)	03
3	Starting Address MSB	xx
4	Starting Address LSB	xx
5	No of registers MSB	00
6	No of registers LSB	01
7	CRC lo byte	??
8	CRC hi byte	??

Note that the only one register may be read per message, so the number of registers should be 1 (although this value is ignored in this implementation). The normal response will be:

Byte No	Meaning	Value (hex)
1	Slave address	xx
2	ModBus Function code (read register)	03
3	Byte count (always 2, even though the register may be only 1 byte wide)	02
4	Data MSB (will be 0 if a single byte register)	xx
5	Data LSB	xx
6	CRC lo byte	??
7	CRC hi byte	??

2.4.3 Force Single Coil (write single bit)

Byte No	Meaning	Value (hex)
1	Slave address	xx
2	ModBus Function code (force coil)	05
3	Starting Address MSB, always 00, all bits are in internal memory	00
4	Starting Address LSB	xx
5	Force Data MSB (FF sets the bit, 00 clears it)	FF or 00
6	Force Data LSB (always 00)	00
7	CRC lo byte	??
8	CRC hi byte	??

An error response code 2 (illegal address) will be returned if the bit is not a valid writeable bit, otherwise the response is the same as the above message.

2.4.4 Preset Single Register

Byte No	Meaning	Value (hex)
1	Slave address	xx
2	ModBus Function code (write register)	06
3	Starting Address MSB	xx
4	Starting Address LSB	xx
5	Data MSB	xx
6	Data LSB	xx
7	CRC lo byte	??
8	CRC hi byte	??

The normal response is the same as the message. An error response code 2 (illegal address) will be returned if the address is not within the processor bounds.

2.4.5 Preset Multiple Registers

Byte No	Meaning	Value (hex)
1	Slave address	xx
2	ModBus Function code (write register)	10
3	Starting Address MSB	xx
4	Starting Address LSB	xx
5	Number of registers MSB	00
6	Number of registers LSB	01
7	Number of bytes to follow	02
8	Data MSB	xx
9	Data LSB	xx
10	CRC lo byte	??
11	CRC hi byte	??

note that this function is a subset of the normal ModBus function code 16 in that only one register of up to 2 bytes may be written. Thus byte numbers 5, 6 and 7 *must* be as shown, otherwise an error response with error code 1 (illegal request) will be returned.

2.5 Exception Code Responses

There are 5 possible responses to received messages:

2.5.1.1 Broadcast message

There is never any response to a broadcast message (one with slave address 0). The message will be acted on if possible, any errors will go unreported.

2.5.1.2 Slave receives incomplete or corrupt message

No response is returned.

2.5.1.3 Slave receives full message but CRC is incorrect

No response is returned

2.5.1.4 Slave receives message correctly, and acts on it correctly

The normal response as detailed under each message heading is returned.

2.5.1.5 Slave receives full message correctly, but cannot act on it

An error response, as detailed under each message heading, is returned as follows

Byte No	Meaning	Value
1	Slave address	xx
2	Original ModBus Function code but with top bit set	8x
3	Error code	xx
4	CRC lo byte	??
5	CRC hi byte	??

The following error codes are implemented :

- 01 - illegal function - *not fully implemented in these versions except for exit program mode when not in program mode, and for function code 16. In future releases will be returned on receipt of any function code not implemented.*
- 02 - illegal data address
- 04 - slave device failure - *not currently implemented in these versions , but will be returned if the NVram causes problems when reading or writing*
- 06 - slave busy - returned if the keyboard is in use when an enter program mode request is received.

2.6 CRC calculation

NOTE that the CRC algorithm published in the **Modicon ModBus Protocol Guide (PI-MBUS-300 Rev G, Nov 1994) IS WRONG!!!!** However, the quick C program using the lookup tables is correct.

The correct algorithm is given here

1. Load a 16 bit register with FFFF (all 1 s). Call this the CRC register.
2. Exclusive OR the first 8 bit byte of the message with the low-order byte of the 16 bit CRC register, putting the result back into the CRC register
3. Look at the Least Significant Bit of the CRC register and remember it. Call it the **LastBit**
4. Shift the CRC register one bit right, putting 0 in the top bit
5. If the **LastBit** was 1, Exclusive OR the CRC register with value A001h (1010 0000 0000 0001)
6. Repeat steps 3,4,5 until 8 shifts have been performed
7. Repeat from step 2 for the next byte of the message until all bytes have been processed
8. The final contents of the CRC register is the CRC value to use
9. When the CRC is placed in the message, the Least Significant Byte is sent first, then the Most Significant Byte

2.6.1 CRC calculation in C code

There are two ways to implement the CRC, one uses the above algorithm, the other uses pre-computed lookup tables which make for a faster calculation. This is given correctly in the ModBus guide, and can be downloaded from the Internet (search for ModBus and CRC and Generation) and is not repeated here. The long winded way is as follows (where mess[] holds the message):

```

unsigned short crc;
unsigned short thisbyte;
unsigned short shift;
unsigned char highbyte, lowbyte;
unsigned char lastbit, i;

crc=0xffff;
for (i=0; i<len(mess); i++)
{
    thisbyte= mess[i];
    crc = crc^thisbyte;
    for (shift=1; shift<=8; shift++)
    {
        lastbit = crc & 1;
        crc = (crc >> 1) & 0x7fff;
        if (lastbit==1)
        {
            crc = crc^0xA001 ;
        }
    }
}
highbyte=(crc>>8)&0xff;
lowbyte=crc&0xff;

```

Reading the CAL Controllers Setpoint

An 8 byte message must be transmitted to the CAL Controller as follows:

byte 0	:	Slave address	xx
byte 1	:	Read Register Function code	03 hex
byte 2	:	High Byte of Register address	00 hex
byte 3	:	Low byte of Register address	7F hex
byte 4	:	Number of Registers to read (high byte)	00 hex
byte 5	:	Number of Registers to read (low byte)	01 hex
byte 6	:	CRC lo byte	xx
byte 7	:	CRC hi byte	xx

Note that the CRC must be transmitted with the lo byte first. Bytes must be transmitted in a single burst, without gaps between each byte - any gap of longer than 1.5 times a character width will cause the CAL Controller to ignore the message.

The following example shows how to construct a message to read the setpoint, the various sections of this code would normally be held in separate functions, and would be optimised for better speed, but this example shows the thought process involved (note also that C uses zero based arrays):

```

unsigned char mess[8], reply[8];

void BuildMessageToReadSetPoint()
{
    unsigned char highbyte,lowbyte;
    unsigned short crc,thisbyte,i,shift,lastbit; /* 16 bit word values */

    mess[0] = 0x01;      /* slave address */
    mess[1] = 0x03;      /* read function */
    mess[2] = 0x00;      /* address hi byte */
    mess[3] = 0x7F;      /* address lo byte */
    mess[4] = 0x00;      /* number of data points hi byte */
    mess[5] = 0x01;      /* number of data points lo byte */

    /* compute the CRC over the first 6 chars of the message */
    crc=0xffff;
    for (i=0; i<=5; i++)
    {
        thisbyte = mess[i];
        crc = crc ^ thisbyte;
        for (shift = 1; shift <= 8; shift++)
        {
            lastbit = crc & 0x0001;
            crc = (crc >> 1) & 0x7fff;
            if (lastbit == 0x0001)
            {
                crc = crc ^ 0xa001 ;
            }
        }
    }
    highbyte = (crc >> 8) & 0xff;
    lowbyte = crc & 0xff;
    mess[6] = lowbyte;
    mess[7] = highbyte;
}

```

the 8 characters in the message can now be transmitted to the communications port.

COMMERCIAL IN CONFIDENCE

After a short delay (approx. 10ms), the CAL Controller will respond with a 7 byte reply. Assuming the Setpoint to be 200 degrees this would be:

byte 0 :	Slave address	xx
byte 1 :	Function code	03 hex
byte 2 :	Number of data bytes to follow	02 hex
byte 3 :	High byte of Setpoint value	07 hex
byte 4 :	Low byte of Setpoint value	D0 hex
byte 5 :	Low byte of CRC value	?? hex
byte 6 :	High byte of CRC value	?? hex

These characters should be stored in a reply array, and the CRC computed (as above) over the first 5 characters and compared with bytes 5 and 6, the reply should be accepted only if they match. If there are any errors in the transmitted message, the reply will be missing altogether or the reply will be an error response. Either way, only accept the reply if the Function code is 03 and the CRC is correct.

The CALController stores the Setpoint internally in 10th degree units, so the value can be computed as:

$$\text{setpoint} = ((\text{reply}[3] \ll 8) + \text{reply}[4]) / 10 ;$$

or, in a language other than C:

$$\text{setpoint} = ((\text{reply}[3] * 256) + \text{reply}[4]) / 10 ;$$

Reading the temperature

Exactly the same method is used as above, except replace byte 2 and 3 of the message with the register address of the Temperature thus:

byte 2 :	High byte of Temperature address	00 hex
byte 3 :	Low byte of Temperature address	1C hex

The temperature will be returned in bytes 3 and 4 of the reply, exactly as the example for Setpoint, and this must also be divided by 10 to bring it to degrees. Note that the temperature is always returned in Centigrade, so any Fahrenheit conversion must be made by the PC.

A typical message would be:

[01][03][00][1C][00][01][45][CC]

A typical reply would be:

[01][03][02][00][C4][B9][D7]

which shows the temperature to be 00C4 hex, 196 decimal, which is 19.6 degrees centigrade.

Writing the Setpoint

Writing to the CAL Controller requires a three stage process which prevents simultaneous access from the front panel. To prevent accidental changes caused by unreliable communications, a sequence of messages must be sent in strict order.

1. Lock the keypad - a sequence referred to as *enter program mode*
2. Write new values to the CAL Controller
3. Unlock the keypad and restart with the new values - a sequence referred to as *exit program mode*

1. Enter Program Mode

To enter the programming mode of the CAL Controller, two messages must be transmitted - both must be recognised, in strict sequence, as valid for the operation to be successful. The first message informs the controller that the *next* message is a security locking message, if the second message is not acknowledged correctly, the whole sequence must be re-started from message 1.

1st Message:

byte 0 :	Slave address		xx
byte 1 :	Function code	(write register)	06 hex (always)
byte 2 :	Register Address high byte		03 hex (always)
byte 3 :	Register Address low byte		00 hex (always)
byte 4 :	Register Value high byte		00 hex (always)
byte 5 :	Register Value low byte		05 hex (always)
byte 6 :	CRC low byte		??
byte 7 :	CRC high byte		??

The controller should reply with an identical response, if not, this message should be re-transmitted until the response is correct.

Note: the 9500 does not require the security message to be sent.

2nd Message:

byte 0 :	Slave address		xx
byte 1 :	Function code	(write register)	06 hex (always)
byte 2 :	Register Address high byte		15 hex (always)
byte 3 :	Register Address low byte		00 hex (always)
byte 4 :	Register Value high byte		00 hex (always)
byte 5 :	Register Value low byte		00 hex (always)
byte 6 :	CRC low byte		??
byte 7 :	CRC high byte		??

The CAL Controller should reply with an identical response, if not, the message pair is lost and the sequence must be repeated from message 1.

2. Write the Setpoint value

The setpoint value must be sent in the same units as are currently displaying on the controller, that is, in Degrees Fahrenheit, if selected, otherwise in Centigrade. The value to be transmitted must be an integer number of 10ths of a degree. For example, to transmit a value of 432.1 degrees, the setpoint register must be set to 4321 (decimal) which is 10E1 (hex). The following message writes the setpoint, in this example xx would be 10 (hex) and yy would be E1 (hex).

byte 0	:	Slave address		xx
byte 1	:	Function code	(write register)	06 hex (always)
byte 2	:	Register Address high byte		00 hex (always)
byte 3	:	Register Address low byte		7F hex (always)
byte 4	:	Setpoint Value high byte		xx
byte 5	:	Setpoint Value low byte		yy
byte 6	:	CRC low byte		??
byte 7	:	CRC high byte		??

3. Exit program mode

A two part sequence, similar to the *enter program mode* sequence is required to accept the new values and unlock the controller keypad. Similarly, both messages must be present in strict sequence for the values to take effect.

1st Message:

byte 0	:	Slave address		xx
byte 1	:	Function code	(write register)	06 hex (always)
byte 2	:	Register Address high byte		03 hex (always)
byte 3	:	Register Address low byte		00 hex (always)
byte 4	:	Register Value high byte		00 hex (always)
byte 5	:	Register Value low byte		06 hex (always)
byte 6	:	CRC low byte		??
byte 7	:	CRC high byte		??

The controller should reply with an identical response, if not, this message should be re-transmitted until the response is correct.

Note: the 9500 does not require the security message to be sent.

2nd Message:

byte 0	:	Slave address		xx
byte 1	:	Function code	(write register)	06 hex (always)
byte 2	:	Register Address high byte		16 hex (always)
byte 3	:	Register Address low byte		00 hex (always)
byte 4	:	Register Value high byte		00 hex (always)
byte 5	:	Register Value low byte		00 hex (always)
byte 6	:	CRC low byte		??
byte 7	:	CRC high byte		??

The CAL Controller should reply with an identical response, if not, the message pair is lost and the *exit program mode* sequence must be repeated from message 1.

Any changes made will only take effect on receipt a valid *exit program mode* sequence - if the controller is de-powered before this sequence is completed, the previously stored values will be used.

3.0 VALUE / LIMIT CHECKING

The purpose of this section of the document is to lay down the allowable range of adjustment for all functions addressable over the communications link.

LEVEL C

Function	Values / Limits
ADR	1 — 247
BAUD	1200 2400 4800 9600 19200
DATA	18N1 18E1 18O1
DEBUG	OFF ON

LEVEL 1

Function	Values / Limits
TUNE	OFF ON PARK AT.SP
BAND	0.1 —9.9 10 — 25% of the selected sensors full scale, deg C or F (9500 - 100% of the selected sensors full scale, deg C or F)
INT.T	OFF 0.1 —9.9 10 — 60 Minutes
DER.T	OFF 1 — 200 Seconds
DAC	0.5 — 5.0 (In 0.5 steps)
CYC.T	A-- ON.OF 0.1 — 9.9 10 — 81 Seconds
OFST	Detailed later dependant on other functions.
SP.LK	OFF ON
SPRR	0 — 9990 Deg/ Hr
SPRN	ON OFF HOLD
SOAK	-- 0 — 1440 Min
SET.2	Detailed later dependant on other functions.
BND.2	Detailed later dependant on other functions.
CYC.2	ON.OF 0.1 —9.9 10 — 81 Seconds.

LEVEL 2

Function	Values / Limits
SP1.P	0 - 100 % (Read only)
HAND	OFF 1 — 100 %
PL1	100 — 0 %
PL2	100 — 0 %
SP2.A	NONE DV.HI DV.LO BAND FS.HI FS.LO COOL E.OP (9500P)
SP2.B	NONE LT.CH HOLD LT.HO NLIN
DISP	1 Deg 0.1 Deg
HI.SC	Detailed later dependant on other functions.
LO.SC	Detailed later dependant on other functions.
INPT	NONE B E J K L N R S T RTD LIN1 LIN2 LIN3 LIN4 LIN5 (9500 — LIN1-5 replaced by LIN)
UNIT	NONE *C *F BAR PSI PH RH SET

LEVEL 3

Function	Values / Limits
SP1.D	NONE RLY SSD RLY1 RLY2 SSD1 (9500 — NONE RLY SSD ANLG depending on hardware present)
SP2.D	NONE RLY SSD RLY1 RLY2 SSD2 (9500 as above)
BURN	UP.SC DN.SC 1U.2D 1D.2U
REV.D	1R.2D 1D.2D 1R.2R 1D.2R
REV.L	1N.2N 1I.2N 1N.2I 1I.2I
SPAN	Detailed later dependant on other functions.
ZERO	Detailed later dependant on other functions.
READ	VAR* HI* LO* (Read only).
TECH	CTA CTB CT1 CT2 CT3 CT4 OS1 US OS2 (Read only).
VER	391 392 941 951 952 (Read only).
RSET	NONE ALL

LEVEL 4

Function	Values / Limits			
LOCK	NONE	LEV.3	LEV.2	ALL
PROG	AUTO	STAY		
NO.AL	OFF	ON		
DIS.S	DIR	1 - 32		
DER.S	0.1 — 1.0			

LEVEL A

Function	Values / Limits
AN.HI	-1999 - 9999
AN.LO	-1999 - 9999
HI.IN	0.1 — 50.0
LO.IN	0.0 — 49.9
DECP	0000 000.0 00.00
SP3.A	NONE DV.HI DV.LO BAND FS.HI FS.LO E.OP (9500P)
SP3.B	NONE LTCH HOLD LT.HO
BRN.3	UPSC DNSC
REV.3	3D 3R
SET.3	Detailed later dependant on other functions.
HYS.3	0.1 — 100 % of HISC

FUNCTIONS DEPENDANT ON OTHER SETTINGS - ADJUSTABLE LIMITS

This section details the valid limits of adjustment for functions that are inter dependant on each other. Flow diagrams are used to demonstrate the order in which the functions should be checked to obtain valid limits. Also included in this section are tables of maximum and minimum adjustment limits for each sensor and the default HI.SC and LO.SC settings.

Note: that the checks for > INPT = LIN apply to the 9500 only.

SP1	> INPT	= LIN	> HISC	> LO SC	> SP.LK	> DECP	
SP1	> INPT	= Others	> UNIT	> DISP	> HISC	> LO SC	> SP.LK

So set point 1 is adjustable between the current high and low scale settings, as long as the setpoint lock is off.

OFST	> INPT	= LIN	> CYC.T	= ON.OF	> 0.0 to 25% of sensor full scale	> DECP
				= 0.1 to 81	> 0.0 to 50% of BAND setting	> DECP
		= Others	> CYC.T	= ON.OF	> UNIT	> DISP
				= 0.1 to 81	> DISP	> 0.0 to 50% of BAND setting

So OFST is adjustable between +/- 0.0 and 50 % of SP1 proportional band setting or +/- 25 % of sensors full scale max setting (see tables 1 and 2 for sensor scales).Resolution of adjustment is dependant on DISP setting.

SET.2	> INPT	= LIN	> SP2.A	= FSHI FSLO	> -1999 to 9999	> DECP	
				= DVHI BAND	> 0 to 2500	> DECP	
				= DVLO	> 0 to —2500	> DECP	
				= COOL	> -1999 to 2500	> DECP	
		= Others	> SP2.A	= DVHI BAND	> DISP	> 0 - 250	
				= DVLO	> DISP	> 1	> 0 to -250
						> 0.1	> 0 to -199.9
				= FSHI FSLO	> UNIT	> DISP	> sensor full scale min to max
				= COOL	> DISP	> 1	> -250 to 250
						> 0.1	> -199.9 to 250.0.

If you change SP2.A at any time then the value of SET.2 defaults to zero.

BND.2 > SP2.A = DVHI to FSLO > INPT > UNIT > DISP > 0.1 to sensor full scale.
= COOL > INPT > UNIT > DISP > 0.1 to 25% of sensor full scale.

So BND.2 is adjustable between 0.1 and the selected sensors full scale, except when you select COOL mode then you have an upper limit of 25% of the selected sensors full scale.

HISC > INPT = LIN > 1 to 9999 > DECP
 = Others > UNIT > DISP > sensor full scale min to max
 LOSC > INPT = LIN > 0 to 9999 > DECP
 = Others > UNIT > DISP > sensor full scale min to max

So the limits of both of these functions is defined by the type of sensor , C or F , and 1* or 0.1*.
 Note that the value of LOSC must be below the value of HISC.

SPAN > INPT = LIN > 0 to 2500 > DECP
 = Others > UNIT > DISP > +/- 25% of sensor full scale

So this function is adjustable from —25% to +25% of sensor full scale , in what ever units are selected,
 adjustment is in 0.1 increments between —9.9 and 9.9 after this it is in 1 degree increments.

ZERO > This function has the same adjustment range as SPAN.

SPRR > INPT = LIN > 0 to 9995 > DECP
 = Others > DISP > 0 to 9995
 READ > INPT = LIN > value > DECP
 = Others > DISP > value
 TECH > INPT = LIN > value > DECP
 = Others > DISP > value

9500 specific functions and values

LOIN > HIIN

The value of LOIN must always be 0.1 less that the value of HIIN

ANLO > -1999 to 9999 > DECP
 ANHI > -1999 to 9999 > DECP
 HYS.3 > INPT =LIN > HISC > 1 — HISC > DECP
 =Others > HISC > UNIT > DISP > 0.1 — HISC

The value of HYS.3 ranges from 0.1 up to HISC

SET.3 > INPT = LIN > SP3.A = FSHI FSLO > -1999 to 9999
 = DVHI BAND > 0 to 2500
 = DVLO > 0 to -2500
 = Others > SP3.A = FSHI FSLO > UNIT > DISP > sensor full scale min to max
 = DVHI BAND > 0 to 250.0
 = DVLO > DISP > 1 > 0 to -250
 > 0.1 > 0 to —199.9

If you change SP3.A at any time then the value of SET.3 defaults to zero.

There are a number of functions which when changed can have an effect on the values of other functions, the rules relating to these will be covered in this section.

1/ As mentioned earlier changing SP2.A will cause SET.2 to default to zero.

2/ Changing the value of DISP will cause the resolution of SET.2 . HISC . LOSC . and set point 1 to change, and also values above 1000 will default to 999.9 if selecting hi- resolution.

3/ If you move set point one to a point outside the limits of HISC or LOSC , then set point 1 will default to the value of the function it is closest to.

4/ If you select a different INPT sensor this will cause the HISC and LOSC values to change to the default values of the newly selected sensor. Then obviously the new HISC and LOSC values need to check that set point 1 is still within these limits. For default values of HISC and LOSC see tables 3 / 4.

5/ The UNIT function has a number of options , but *C and *F are the options we need to consider here , all other options PH ,RH ,PSI, etc. are treated the same as *C. A number of functions change their values when you change UNIT and it depends which function you ve changed as to what type of conversion is performed. The two types of conversion are absolute and relative.

Note that the 9500 instrument with a linear input selected ignores the setting of the UNIT function.

COMMERCIAL IN CONFIDENCE

The absolute conversion uses the formula-

$$\text{TempF abs} = 32 + (\text{TempCabs} \times 1.8) \text{ for converting } ^\circ\text{C to } ^\circ\text{F}$$

And

$$\text{TempC abs} = (\text{TempF abs} - 32) / 1.8 \text{ for converting } ^\circ\text{F to } ^\circ\text{C}$$

The relative conversion uses the formula-

$$\text{TempF rel} = \text{TempC rel} \times 1.8 \text{ for converting } ^\circ\text{F to } ^\circ\text{C}$$

And

$$\text{TempC rel} = \text{TempF rel} / 1.8 \text{ for converting } ^\circ\text{C to } ^\circ\text{F}$$

Here is a list of the functions that are effected by a $^\circ\text{C}$ to $^\circ\text{F}$ conversion, and if a relative or absolute conversion is needed.

FUNCTION	CONVERSION	NOTES
Set point 1	Absolute	
HISC	Absolute	
LOSC	Absolute	
OFST	Relative	
BAND	Relative	
BND.2	Relative	
ZERO	Relative	
SPAN	Relative	
READ	Relative	
TECH	Relative	Conversion only performed on OS1 US OS2
SET.2	Absolute/Relative	Absolute — FSHI FSLO Relative — DVHI DVLO BAND COOL
SET.3	Absolute/Relative	Absolute — FSHI FSLO Relative — DVHI DVLO BAND
HYS.3	Relative	

TABLE 1 MIN/MAX SENSOR FULL SCALE DEGREE C

SENSOR	MIN	MAX	MIN 0.1	MAX 0.1
B	0	1800	0.0	999.9
E	0	600	0.0	600.0
J	0	800	0.0	800.0
K	- 50	1200	- 50.0	999.9
L	0	800	0.0	800.0
N	- 50	1200	- 50.0	999.9
R	0	1600	0.0	999.9
S	0	1600	0.0	999.9
T	- 200	250	- 199.9	250.0
RTD	- 200	400	- 199.9	400.0
LIN1	0	400	0.0	400.0
LIN2	- 25	400	- 25.0	400.0
LIN3	0	3000	0.0	999.9
LIN4	- 250	3000	- 199.9	999.9
LIN5	0	3000	0.0	999.9
LIN (9500)	0	9999	N/A	N/A

TABLE 2 MIN/MAX SENSOR FULL SCALE DEGREE F

SENSOR	MIN	MAX	MIN 0.1	MAX 0.1
B	32	3272	32.0	999.9
E	32	1112	32.0	999.9
J	32	1472	32.0	999.9
K	- 58	2192	- 58.0	999.9
L	32	1472	32.0	999.9
N	- 58	2192	- 58.0	999.9
R	32	2912	32.0	999.9
S	32	2912	32.0	999.9
T	- 273	482	- 199.9	482.0
RTD	- 273	752	- 199.9	752.0
LIN1	N/A			
LIN2	N/A			
LIN3	N/A			
LIN4	N/A			
LIN5	N/A			
LIN (9500)	N/A			

TABLE 3 HI.SC / LO.SC DEFAULT SETTINGS DEGREE C

SENSOR	DEFAULT LO.SC	DEFAULT HISC	DEFAULT LO.SC	DEFAULT HISC
B	0	1800	0.0	999.9
E	0	600	0.0	600.0
J	0	800	0.0	800.0
K	0	1200	0.0	999.9
L	0	800	0.0	800.0
N	0	1200	0.0	999.9
R	0	1600	0.0	999.9
S	0	1600	0.0	999.9
T	0	250	0.0	250.0
RTD	0	400	0.0	400.0
LIN1	0	400	0.0	400.0
LIN2	0	400	0.0	400.0
LIN3	0	3000	0.0	999.9
LIN4	0	3000	0.0	999.9
LIN5	0	3000	0.0	999.9
LIN (9500)	0	9999	N/A	N/A

TABLE 4 HI.SC / LO.SC DEFAULT SETTINGS DEGREE F

SENSOR	DEFAULT LO.SC	DEFAULT HI.SC	DEFAULT	DEFAULT HI.SC
B	32	3272	32.0	999.9
E	32	1112	32.0	999.9
J	32	1472	32.0	999.9
K	32	2192	32.0	999.9
L	32	1472	32.0	999.9
N	32	2192	32.0	999.9
R	32	2912	32.0	999.9
S	32	2912	32.0	999.9
T	32	482	32.0	482.0
RTD	32	752	32.0	752.0
LIN1	N/A			
LIN2	N/A			
LIN3	N/A			
LIN4	N/A			
LIN5	N/A			
LIN (9500)	N/A			